

OMEGA • WIEDZA POWSZECHNA

GEORG KLAUS, HEINZ LIEBSCHER

Co to jest cybernetyka

Cybernetyka zdobyła w świecie ustaloną pozycję, jej znaczenie stale rośnie, a mimo to znajduje się w początkowym okresie swego rozwoju.

W książce autorzy — Georg Klaus, wybitny filozof i cybernetyk niemiecki i jego bliski współpracownik Heinz Liebscher, starali się zapoznać Czytelnika z podstawowymi pojęciami cybernetyki ukazując jej metody badawcze i obiekty, na których cybernetycy przeprowadzają swe doświadczenia. Duże partie materiału poświęcone są zagadnieniom modelowania cybernetycznego, uczenia się, automatyzacji i planowania.

Autorzy nie poprzestali tylko na rozważaniach teoretycznych, ale przedstawili też możliwości praktycznego zastosowania niektórych osiągnięć cybernetyki — przede wszystkim w zakresie planowania gospodarczego.



Biblioteka Wiedzy Współczesnej · Omega

202



GEORG KLAUS, HEINZ LIEBSCHER

Co to jest cybernetyka

WIEDZA POWSZECHNA • WARSZAWA • 1971

Tytuł oryginału niemieckiego:
Was ist, was soll Kybernetik

Tłumaczył: Henryk Sejneński

Ilustracje wg oryginału

Okładkę i kartę tytułową
projektował: Jerzy Kępkiewicz

PRINTED IN POLAND

Państwowe Wydawnictwo „Wiedza Powszechna"
Warszawa 1971

Redaktor: Ewa Maria Szczepańska
Redaktor techniczny: Janusz Kołak
Korektor: Alicja Moryś

Wydanie I. Nakład 10 275 egz.
Ark. wyd. 6. Ark. druk. 8.
Papier rotograw. kl. III, 80×100, 70 g.
Oddano do składania w maju 1971 r.
Druk ukończono w sierpniu 1971 r.
Zam. 160. — C-012 — Cena zł 10,—
Drukarnia Techniczna, Bytom, ul. Przemysłowa 2.

Od wydawcy

Wiek XX brzemienny jest w liczne i niezwykłe odkrycia. Nauka i technika rozwijają się w tempie, którego poprzednie pokolenia nie tylko nie mogły przewidzieć, ale nawet sobie wyobrazić. Znamionami epoki rewolucji naukowo-przemysłowej, jaką przeżywamy, stało się wyzwolenie i opanowanie energii atomowej oraz postępy astronautyki. Na okres ten przypada jednak również powstanie i rozwój nowej gałęzi wiedzy, której znaczenie i perspektywy trudno przecenić. Nazwano ją „cybernetyką". Wyodrębnienie tej nauki związane jest z rozwojem nowoczesnych sił wytwórczych, zwłaszcza zaś współczesnej techniki. Coraz bardziej komplikujące się i złożone układy techniczne wymagają niezawodnych urządzeń sterowniczych i regulacyjnych. Automatyka staje się podstawowym kluczem do rozwiązania technicznych problemów już niedalekiej przyszłości.

Cybernetyka jako nauka powstała na początku lat czterdziestych naszego stulecia. Opinia publiczna zetknęła się z nią dopiero w roku 1948, z chwilą pojawienia się książki amerykańskiego matematyka, Norberta Wienera, pt. *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine.* Dalszy rozwój cybernetyki jest dziełem olbrzymiej plejady uczonych z całego świata — matematyków, logików, fizjologów

oraz przedstawicieli najrozmaitszych dyscyplin szczegółowych.

Historia społeczeństw zna wiele przykładów odkryć przyrodniczych i wynalazków technicznych, które wywarły wpływ na losy ludzkości i świadomość człowieka. Cybernetyka niewątpliwie powiększa ich grono. Prowadzi ona nie tylko do zmiany wyobrażeń ludzkich o świecie zewnętrznym, ale do zmiany poglądów na samego człowieka, jego myślenie, świadomość i pracę. Człowiek i społeczeństwo są bowiem także układami cybernetycznymi. Pociąga to za sobą konieczność nowego spojrzenia na wiele, zdawałoby się, poznanych już spraw, przewartościowania wielu ocen i tradycyjnych rozwiązań. Czyni wreszcie z cybernetyki przedmiot zainteresowania nie tylko wąskiego kręgu fachowców, lecz pożądany element ogólnego wykształcenia każdego współczesnego człowieka.

Ta skromna i niewielka książeczka ma ułatwić wstępne zapoznanie się z nową problematyką, wniesioną przez cybernetykę. Dla zrozumienia zawartych w niej tekstów nie potrzeba żadnego specjalnego przygotowania naukowego. Jest ona więc dostępna dla jak najszerszego kręgu Czytelników. Stara się w możliwie prosty sposób odpowiedzieć na dwa ważne pytania: czym jest cybernetyka i, co daje nam cybernetyka. Dlatego podstawowe pojęcia i sposoby podejścia cybernetycznego wyjaśniane są za pomocą elementarnych przykładów. Liczne ryciny winny jeszcze bardziej ułatwić zrozumienie tekstu.

Zamiarem Autorów nie było napisanie podręcznika cybernetyki lub czegoś w tym rodzaju. Pragnęli raczej ukazać Czytelnikowi ogólne zasady cybernetycznego ujmowania zjawisk, aby zainteresować go spojrzeniem na bliższe i dalsze otoczenie również i z tego nowego punktu widzenia. Jeśli przy tym powstałe wątpliwości i pytania skierują, choćby niektórych Czytelników, ku dalszym studiom nad cybernetyką, cel, jaki postawili sobie Autorzy zostanie osiągnięty.

Spis treści

1

Czym jest cybernetyka?

Cybernetyka jest młodą gałęzią wiedzy. Jej pojęcia, specyficzne słownictwo oraz metody badawcze ukształtowały się stosunkowo niedawno. Jeśliby więc spróbować jednym zdaniem określić, czym jest cybernetyka, czytelnik, być może, z trudnością odnalazłby jego właściwy sens. Zresztą zawsze można powątpiewać w słuszność definicji jakiejś nauki, dopóki nie przedstawi się jej problematyki. Musimy bowiem z konieczności posłużyć się pojęciami i terminologią, których wyjaśnienie i uzasadnienie jest właśnie przedmiotem danej nauki. Z tego powodu łatwiej nam będzie przedstawić, czym zajmuje się cybernetyka. Postaramy się ukazać ów aspekt rzeczywistości, który jest przedmiotem badań tej nowej dziedziny wiedzy i zwrócimy jednocześnie uwagę na wielostronność jej zainteresowań.

Cybernetyk przypatruje się samochodowi

Współczesny samochód jest — pod względem technicznym — tworem dość skomplikowanym. Składa się z wielu części wykonanych z rozmaitych materiałów: z różnych metali, a także z mas plastycznych, gumy i szkła. Poszczególne części (lub „elementy") łączone są w podzespoły — takie jak silnik, skrzynka biegów, układ kierowniczy itd. Ich współdziałanie służy właś-

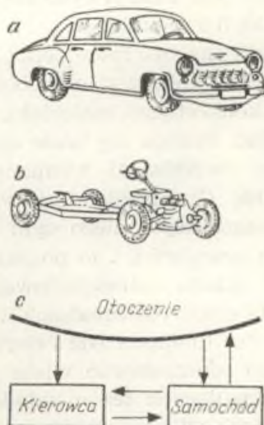
nie celowi, dla którego buduje się samochód, innymi słowy umożliwia przewóz ludzi i ładunków. Oprócz zastosowania odpowiednich materiałów do produkcji tych części oraz właściwego — pod względem technicznym — współdziałania podzespołów, konieczne jest tu oczywiście wydatkowanie określonej ilości energii, np. energii elektrycznej dla uruchomienia rozrusznika lub oświetlenia pojazdu, przede wszystkim zaś energii napędowej (energia mechaniczna uzyskiwana ze spalania paliwa w cylindrach silnika).

Dla opracowania tak skomplikowanego układu niezbędna jest współpraca naukowców z kilku dziedzin nauki. Budowa samochodu wymaga nie tylko podstawowych badań z zakresu fizyki i chemii, ale także i ze specjalnych dziedzin techniki. Każda z tych dyscyplin koncentruje swą uwagę na ściśle określonych podukładach i bada samochód pod jednym, specyficznym dla niej kątem widzenia.

Cybernetykę trudno zaliczyć aktualnie do nauk odgrywających istotną rolę przy konstrukcji samochodów. Ogólny charakter rozważań cybernetycznych pozwala jednak w pełni i od tej strony spojrzeć na współczesny samochód, stanowiący przecież względnie proste, w pewnej mierze laikowi nawet nieobce urządzenie techniczne.

Jak więc będzie postępować cybernetyk, gdy przystąpi do badania samochodu? Przede wszystkim należy podkreślić, że nie będzie zainteresowany składem chemicznym materiałów użytych do produkcji. Nie zwróci również uwagi na to, czy podzespoły zbudowane są z tego lub innego metalu, ze szkła czy też z gumy. Obojętne mu będzie także, jakie rodzaje i przemiany energii są wykorzystywane, jaką rolę odgrywa energia elektryczna, mechaniczna, cieplna czy też nawet jądrowa. Cybernetyk spogląda na samochód jako na abstrakcyjny układ dynamiczny (ryc. 1). Co rozumiemy pod słowem „dynamiczny"? Otóż nasz cybernetyk nie interesuje się tyle „martwym" samochodem, stojącym na parkingu, ile wozem będącym w ruchu — funkcjonującym. Ten zaś składa się z dwóch, wyraźnie

różniących się p o d u k ł a d ó w — z kierowcy i samochodu. Oczywiście, każdy z owych „podukładów", z kolei sam złożony jest z licznych, mniej lub bardziej skomplikowanych i powiązanych ze sobą podukładów. Kontynuując ów podział na podukłady dalej i dalej, dochodzi się w końcu do takich jednostek, że dla określonego celu badania dalsze i ich dzielenie traci swój sens. Jednostki te nazywamy elementami danego układu.



Ryc. 1. Samochód jako układ widziany oczami: a) laika, b) technika, c) cybernetyka

W naszym przykładzie układ, złożony z kierowcy i samochodu, nie jest układem „izolowanym", obejmującym wyłącznie wzajemne powiązania między poszczególnymi elementami i podukładami, lecz wchodzi także w ścisły związek ze swym otoczeniem. Układ i jego otoczenie (świat zewnętrzny) tworzą tym samym nową jedność wyższego rzędu. W przypadku naszego samochodu jego otoczenie z reguły sprowadza się do drogi i ruchu drogowego. Wpływa ono na układ w najrozmaitszy sposób. Na prostej drodze drobne nierówności grożą maszynie zboczeniem z kursu. Zakręt lub rozwidlenie na wyznaczonej trasie mogą wymagać korekty kierunku ruchu wozu. Poza owymi czynnikami

„geograficznymi" dają znać o sobie wpływy, pochodzące z „pokrewnych układów". Będą to przechodnie, na których należy zwracać uwagę, funkcjonariusze milicji regulujący ruch, a także inne pojazdy, które mijamy lub którym ustępujemy z drogi. Na wszystkie te oddziaływania świata zewnętrznego układ samochód—kierowca reaguje w zupełnie określony sposób. Zespół reakcji, jakie wykazuje dany układ lub co najmniej do jakich w zasadzie jest zdolny, cybernetyk nazywa jego sposobem zachowania się.

Czytelnik zapyta nas, być może, teraz, jaki sens i wartość posiada takie potraktowanie problemu. Abstrahuje się przecież od konkretnego materiału, z którego zbudowany jest układ. Pomija się także sprawę specyficznego charakteru zachodzącej wymiany energetycznej oraz substancjalnej. Czy możliwe jest więc w ogóle wypowiedzenie jakiegoś użytecznego sądu w oparciu o tak ubogie treściowo przesłanki, i to posiadającego znaczenie dla budowy układu „samochodowego"? Postaramy się w naszych dalszych rozważaniach szczegółowo wykazać, że należy dać tu odpowiedź twierdzącą. Okaże się nawet, że można sformułować wiele ważnych i powszechnie obowiązujących tez o układach i ich istotnych właściwościach właśnie wtedy, jeśli abstrahuje się od specyfiki ich składu materiałowego oraz konkretnie zachodzących przemian energetycznych.

Dotychczasowe rozważania pozwoliły nam lepiej zrozumieć problematykę, którą cybernetyk nazywa aspektem układowym. Jeśli zwrócimy z kolei uwagę na ważną właściwość wzajemnych stosunków, zachodzących między układem i jego otoczeniem, uchwycimy następny charakterystyczny rys cybernetycznego podejścia do zagadnień.

1)

Zachowanie się samochodu jako układu nie jest wyrazem prostej reakcji zachodzącej pod wpływem oddziaływań zewnętrznych, porównywalnej na przykład z odbiciem piłki gumowej od ściany. Układ nasz poddaje płynące doń ze świata zewnętrznego oddziaływania, względnie sygnały i informacje (o pojęciach tych będziemy jeszcze mówić nieco dalej) mniej lub bar-

dziej skomplikowanemu procesowi „obróbki", a dopiero po tym następuje odpowiednia reakcja. Ośrodkiem tego przetwarzania oddziaływań zewnętrznych jest podukład człowiek, względnie ludzki układ nerwowy i mózg jako mniejsze podukłady podukładu — — człowiek. O ile piłka gumowa w pełni podlega grze sił zewnętrznych, ruch układu kierowca—samochód wykazuje stałość oraz celową reakcję na wpływy zewnętrzne, przeszkadzające w osiągnięciu przez niego zamierzonego celu (w naszym wypadku jest to osiągnięcie docelowego punktu jazdy). Tego rodzaju zachowanie układu cybernetyk nazywa regulowanym. Układy zachowujące się w ten sposób noszą miano układów regulowanych lub też układów samoregulowanych (autoregulowanych). W jaki więc sposób dokonuje się owa regulacja, względnie samoregulacja? Ponieważ interesuje nas przede wszystkim istota problemu — same zasady takiej regulacji — zajmiemy się najprostszym przypadkiem występowania regulacji w poruszającym się samochodzie.

„Zachowanie się" samochodu powinno podlegać takiej regulacji, aby na prostej drodze jechał on prosto. Nie wystarczy tu zwykłe przytrzymanie kierownicy po nadaniu maszynie odpowiedniego kierunku i wyprostowaniu kół. Każda najmniejsza bowiem nierówność drogi lub też minimalne wychylenie kół wywołuje zboczenie od ustalonego kierunku jazdy. Powyższe wahnięcia usuwa kierowca, odpowiednio poruszając kierownicą.

Jeśliby samochód jechał na szynach na wzór pociągu, takie odchylenia od kierunku jazdy nie miałyby oczywiście miejsca. Z punktu widzenia cybernetyki ruch jednostki kolejowej na trasie nie podlega regulacji, lecz jest sterowany biegiem torów. W naszym samochodzie natomiast kierunek jazdy może być dowolnie wybrany za pomocą układu kierowniczego. Ustala się go, biorąc pod uwagę konieczności wynikające z celu jazdy, z ogólnych właściwości nawierzchni oraz przepisów ruchu drogowego. W naszym konkretnym przypadku sprowadza się to do zachowania ruchu wozu po

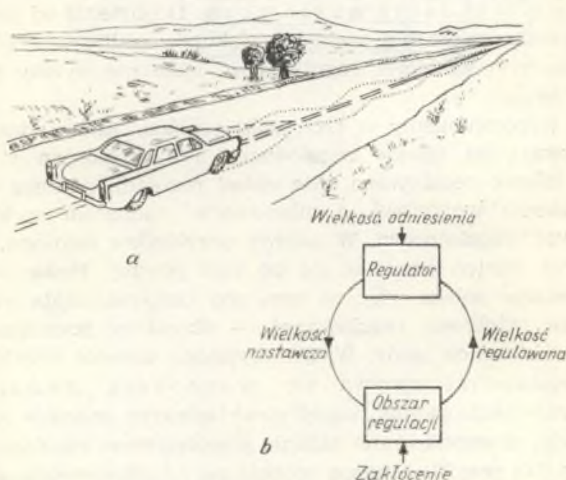
linii prostej, a więc do utrzymania jednego z dowolnie możliwych kierunków, mimo nierówności na trasie. Kierunek ów jest właśnie tym, co podlega tutaj r e g u l a c j i.

Jak przebiega ona w praktyce? Przede wszystkim niezbędnym elementem tej regulacji jest ciągła obserwacja drogi przed sobą, kierunku na wprost. Na autostradzie kierunek ten jest bezpośrednio widoczny, wytycza go przerywana biała linia, biegnąca środkiem jezdni. Sama jednak obserwacja drogi do niczego jeszcze nie prowadzi. Kierowca musi decydować — stosownie do zaobserwowanych odchyleń od jazdy po linii prostej — jakiej korektury należy dokonywać za pomocą układu kierowniczego. Chodzi o to, w jakiej mierze winien on przekręcić kierownicę w lewo lub w prawo, o większy czy też mniejszy kąt. Doświadczony kierowca dokonuje tak drobnych ruchów kierownicą podczas prowadzenia wozu, dokładnie po linii prostej, że towarzyszący mu pasażer, laik, być może w ogóle nie zauważy tych zmian. Początkujący natomiast będzie prawdopodobnie wciąż „celował za daleko", tzn. stosował zbyt wielkie wychylenia kierownicą w stosunku do rzeczywiście niezbędnych. Rezultatem tego będzie niejako wahadłowy ruch wozu, oscylujący wzdłuż linii prostej. Ściśle rzecz biorąc, samochód prowadzony przez wyszkolonego kierowcę poruszać się będzie w identyczny sposób, jedynie jego odchylenia w prawo lub w lewo są znacznie mniejsze i przez to w całości mniej dostrzegalne.

Aby zrozumieć, jak cybernetyka rozpatruje ten problem musimy zdać sobie sprawę z następującego faktu. Prowadzenie samochodu nie polega bynajmniej na tym, że poszczególne skręty kierownicą wykonywane są przez kierowcę na podstawie jakiegoś z góry ustalonego planu, jakiegoś „programu". Nie jest też tak, że kierowca zakłada sobie, iż przez pierwsze 20 sekund trzymać będzie kierownicę nieruchomo, następnie przekręci ją o 3 stopnie w lewo, a po następnych 5 sekundach o tyle to i tyle stopni w prawo itd. Dokonuje on raczej każdej kolejnej czynności regulacyjnej odpowiednio

do wyników poprzednich działań. Dlatego właśnie niezbędna jest ciągła obserwacja całej jazdy. W zależności od efektu naprowadzenia wozu na przewidziany kierunek, wykonuje on następne ruchy kierownicą. Tego rodzaju kierowany układ nosi nazwę układu ze sprzężeniem zwrotnym. Wszystkie regulowane układy cybernetyczne są zbudowane na zasadzie sprzężenia zwrotnego.

Jeśli, postępując zgodnie z duchem cybernetyki, uogólnimy ten sposób rozumowania i nie będziemy posługiwać się tylko naszym przykładem — np. faktem posługiwania się właśnie kierownicą lub koniecznością utrzymania danego kierunku jazdy — otrzymamy schemat układu, zwany schematem blokowym (ryc. 2).



Ryc. 2. Samochód w ruchu jako przykład układu samoregulującego: a) szkic poglądowy, b) schemat blokowy

Przedstawia on ogólny schemat struktury i funkcjonowania tzw. cybernetycznego obwodu regulacji.

Uogólnienie naszego konkretnego przykładu prowadzi do wyróżnienia następujących istotnych elementów. Przednie koła, względnie ich położenie, na które z re-

guły działa układ kierowniczy, stają się — w ramach tej generalizacji — obszarem regulacji. W obszarze tym interesuje nas jeden z jego aspektów, w naszym przypadku jest to kierunek jazdy — *wielkość regulowana.* Określone informacje o tej wielkości, a ściślej rzecz biorąc, o odchyleniach od jej pożądanej wartości, przesyłane są do centrali. W omawianym przykładzie chodzi tu konkretnie o pewne ośrodki ludzkiego mózgu. Centrala ta nosi nazwę *regulatora.* Regulator ze swej strony podejmuje określone działania, pozwalające utrzymać wielkość regulowaną na wymaganym poziomie, względnie też ją do niego sprowadzić. To zwrotne działanie na obszar regulowany — stanowiące realizację sprzężenia zwrotnego — nazywa się *wielkością nastawczą.* Odchylenia od wielkości regulowanej zachodzą wskutek zakłóceń. Jeśliby nie było zakłóceń, regulacja w ogóle nie byłaby potrzebna.

Wspomnieliśmy o tych zakłóceniach, które oddziaływają na obszar regulowany, a tym samym i na wielkość regulowaną. Ale układ regulacji podlega też innemu wpływowi, a mianowicie „zadaniom stawianym" regulatorowi. W naszym przykładzie założono, że wóz winien poruszać się po linii prostej. Postawione zadanie polega więc na tym, aby utrzymać stałą wartość wielkości regulowanej — określony prostoliniowy kierunek jazdy. W tym wypadku zadanie stawiane regulatorowi nazywa się *wartością zadaną.* Przeważnie jednak rozpatrywać będziemy znacznie bardziej skomplikowane zadania przekazywane regulatorowi. Na przykład można spotkać się z koniecznością, aby utrzymywać wielkość regulowaną w określonym stosunku do innej, zmieniającej się wielkości. Wielkość zmienna, obejmująca także stałość (wartości zadanej) jako przypadek szczególny, nazywa się *wielkością odniesienia.*

Schemat obwodu regulacji posiada niezwykle ogólny charakter. Na tej samej zasadzie opiera się regulowanie najróżnorodniejszych układów. Szczególnego znaczenia nabierają przy tym mechanizmy regulacyjne układów

bardzo złożonych, np. układów biologicznych i społecznych.

To, co teraz omówiliśmy, jest a s p e k t e m r e g u l a c y j n y m cybernetyki. Analizując nasz układ, cybernetyk uwzględnia jednak jeszcze jeden punkt widzenia. Wspomnieliśmy uprzednio, że kierowca winien stale obserwować drogę. Co to właściwie znaczy? Przede wszystkim możemy stwierdzić, że promienie świetlne odbite od otoczenia wpadają do naszego oka i wytwarzają na siatkówce względnie wierny obraz, podobnie jak aparat fotograficzny dzięki swej szklanej soczewce przenosi obraz otoczenia na błonę filmową. Następnie jednak z obrazem na siatkówce dzieje się coś niezwykłego. Nie dociera on w żadnym razie w tej postaci do mózgu, aby wywołać tam odpowiednie spostrzeżenie. Przeciwnie, obraz ulega zupełnemu „zniszczeniu"! Rozkłada się on na poszczególne punkty, przetworzone z kolei w impulsy nerwowe, które docierają do mózgu poprzez olbrzymią ilość połączeń nerwowych. Proces ten wykazuje określone podobieństwo do przebiegu rejestracji i przekazywania obrazów telewizyjnych. I w tym przypadku nie przesyła się nam do domu gotowych obrazów; i tutaj mamy do czynienia z przekształceniem obrazu w zjawiska fizyczne zupełnie innego rodzaju. W mózgu nadchodzące impulsy zostają przetworzone i następnie inne impulsy nerwowe wysyłane są poprzez kolejne połączenia nerwowe do mięśni rąk, które w naszym przykładzie poruszają kierownicą. Kierownica połączona jest z układem kierowniczym, który ostatecznie doprowadza do zmiany położenia kół.

Przede wszystkim rzuca się w oczy, że na całej tej drodze — od otoczenia (np. jezdni), poprzez układ kierowca—samochód i na powrót do jezdni — zachodzi nieprzerwanie proces przekształcania danych początkowych. Jeśli punkt wyjścia stanowią fale elektromagnetyczne — promienie świetlne, które docierają do oka, to pierwszą metamorfozą tych zjawisk fizycznych jest ich zamiana na impulsy nerwowe. W wyniku dość skomplikowanych procesów transformacyjnych, jakim pod-

dane są te impulsy w układzie nerwowym (zwłaszcza w mózgu), nowe impulsy nerwowe, różniące się znacznie od początkowych pod względem ilości, charakteru i kolejności, przekształcają się ponownie w zjawiska typu fizycznego — i to także zupełnie odmienne od tych, jakie wystąpiły na początku. Mamy teraz do czynienia z mechanicznym ruchem mięśni rąk i dłoni człowieka, z ruchami obrotowymi kierownicy, z ruchami obrotowymi i przesuwnymi w układzie kierowniczym i wreszcie z ruchem obrotowym kół wokół pionowej osi.

Na analizowanej w ten sposób przez nas drodze występują więc zarówno rozmaite formy energii — do tego jeszcze z różnym stopniem natężenia — jak i przeróżne substancje chemiczne, które działają poniekąd jako „przewodniki" na trasie przenoszenia obrazu. Jednak ani energia, ani substancje nie są w tym wypadku najistotniejsze. Wiadomo, że dla bezpiecznego prowadzenia samochodu muszą być spełnione określone wstępne warunki energetyczne i materiałowe. Należy tu chociażby wspomnieć o konieczności zapewnienia wystarczająco silnego oświetlenia bądź naturalnego, bądź sztucznego. Z drugiej jednak strony sytuacja oświetleniowa może na przykład ulegać dość znacznym wahaniom, nie wpływając poważnie na pewność prowadzenia samochodu przez dobrego kierowcę.

Aby dokładniej to zrozumieć, przyjrzyjmy się raz jeszcze pierwszej części opisanego wyżej sposobu przenoszenia obrazu. Gdy patrzymy na otaczający nas wycinek świata, bynajmniej nie wszystko w obrazie, który powstaje na siatkówce naszego oka, jest dla określonych celów interesujące. Kierowca nie spogląda na krajobraz po to, by podziwiać jego urodę (co najmniej nie powinien tego czynić), lecz musi uważać — zgodnie z założeniami naszego konkretnego przykładu — aby utrzymać prostoliniowy kierunek jazdy. Nie obchodzi go dlatego zieleń mijanych drzew. W ogóle dalsze otoczenie drogi nie odgrywa tu żadnej roli. A nawet to wszystko, co znajduje się w bezpośredniej bliskości szosy lub autostrady, posiada dla niego znaczenie o tyle, o ile jest to potrzebne dla realizacji celu. Na przykład

wystarczy, aby przerywana biała linia na szosie, jeśli zwraca on stale na to uwagę, znajdowała się zawsze w tym samym miejscu obrazu. Jeśli przesunie się z niego, oznacza to, że samochód zboczył z poprzedniego toru swej jazdy. Musi więc z kolei starać się, by sprowadzić linię znów na uprzednie miejsce. Uogólniając, znaczącą rolę odgrywają tylko pewne części, względnie elementy obrazu — ściślej zaś: określone relacje strukturalne, które w rozmaitych przypadkach mogą nosić zdecydowanie różny charakter. Gdy teraz pomyślimy o licznych transformacjach, jakie zachodzą na całej drodze przenoszenia obrazu, musimy zwrócić uwagę na jeszcze jeden istotny czynnik. Jeśli oddziaływanie kierowcy na układ kierowniczy i korekta odchyleń od linii prostej ma przebiegać stosownie do odbieranych wrażeń zmysłowych lub — wyrażając się cybernetycznie — jeśli wielkość nastawcza w zależności od wielkości odniesienia i zakłóceń ma wywierać pożądany wpływ na wielkość regulowaną (odchyłkę), to między początkiem i końcem naszej drogi musi bezwzględnie istnieć jakiś „sensowny" związek. Innymi słowy, mimo licznych przekształceń zarówno substancjalnych, jak i energetycznych, pewien aspekt musi pozostać niezmienny tak pod względem ilościowym, jak i jakościowym. Nie będziemy tu dokładniej wnikać, jak w ramach cybernetyki problem ten bywa szczegółowo analizowany i opisywany. W zamian przedstawimy pojęcia, które odgrywają w tym względzie decydującą rolę.

Przekonaliśmy się, że istoty procesów, zachodzących na omawianej przez nas drodze, nie stanowią ani przemiany substancjalne, ani też energetyczne. Chodzi tu raczej o procesy powstawania, przenoszenia i przetwarzania informacji. Informacje zawsze wymagają jakiegoś „fizycznego nośnika", składającego się z sygnałów względnie z zespołów sygnałowych. Sygnały i informacje znajdują się w ścisłym związku z tym, co uprzednio nazwaliśmy cechami strukturalnymi otaczającego nas fragmentu rzeczywistości. To, co bardzo ogólnie określono jako przekształcenie lub transpozycje,

nazywa się w cybernetyce kodowaniem (szyfrowaniem) albo dekodowaniem wiadomości lub informacji. Dotknęliśmy w ten sposób kolejnego ważnego aspektu cybernetyki — tak zwanego aspektu informacyjnego. Układy cybernetyczne wszakże zawsze można rozpatrywać jako systemy odbierające



Ryc. 3. Podukład „kierowca" — system przetwarzający informacje

i przetwarzające informacje lub magazynujące je i następnie przetwarzające albo też jako układy transponujące przechowywane przez pewien czas informacje na oddziaływania na otoczenie.

Spróbujmy teraz spojrzeć na zachowanie się naszego samochodu, względnie jego kierowcy, z jeszcze innego punktu widzenia. Załóżmy, że jazda odbywa się tym razem zimą, po oblodzonej jezdni. Kierowca byłby bezradny, jeśli w takich warunkach, aby utrzymać prostoliniowy kurs chciał się oprzeć na wyżej opisanym systemie regulacji. Ale przecież sytuacja taka jest właśnie typowa dla nowicjusza jadącego szosą pokrytą cienką warstwą lodu. Jeśli nawet wyjątkowo uważnie będzie obserwować trasę, może się zdarzyć, że wpadnie ze swym wozem nagle w poślizg, stanie w poprzek jezdni lub też przytrafi mu się jeszcze coś gorszego. Dzieje się tak dlatego, ponieważ przypadkowe zboczenia z prostej linii jazdy, wyrównywane za pomocą naszego układu regulacji, nie odgrywają tu decydującej roli. Największe znaczenie mają w tym konkretnym przypadku nagłe oddziaływania powodujące ostry poślizg tylnych kół w prawo lub w lewo.

Doświadczony kierowca nie ograniczy się do zwykłej obserwacji drogi. Jego zachowanie opierać się będzie na doświadczeniach, jakie zdobył w podobnych sytuacjach w czasie swej praktyki szoferskiej, a które przechowywane są w jego pamięci — być może zupełnie dlań nieświadomie. Jeśliby spytać takiego kierowcę, jak postępuje on w tego rodzaju sytuacjach, prawdopodobnie udzieliłby następującej odpowiedzi: „Na śliskiej jezdni reaguję na pewne odchylenia z kursu według własnego wyczucia". Drobiazgowa analiza faktycznego stanu rzeczy wykazuje jednak, że owe doświadczenia i owo „wyczucie", na które powołuje się kierowca, stanowią zupełnie określony rodzaj i sposób zachowania się, przechowywany w podświadomości. Możemy to poglądowo ująć za pomocą prostej tabeli (ryc. 4). W górnym poziomym wierszu wymienione są

Oddziaływanie drogi \ *Reakcje kierowcy*	*G*	*L*	*R*
l	×	○	×
g	○	×	×
r	×	×	○

○ *„ruchy" prawidłowe*

× *„ruchy" fałszywe*

Ryc. 4. Partnerzy gry strategicznej — kierowca samochodu i droga

przypuszczalne reakcje kierowcy. *G* oznacza trzymanie kierownicy prosto, *L* — skręt kierownicy w lewo, *R* — skręt kierownicy w prawo. W pierwszej kolumnie pionowej przytoczono prawdopodobne oddziaływanie otoczenia (w danym przypadku — oblodzonej jezdni) na jeden z elementów naszego układu, a mianowicie na tylne koła samochodu: *l* oznacza „poślizg tylnych kół wozu

w lewo", g — „wóz jedzie prosto", r — „poślizg tylnych kół wozu w prawo". Jeśli zrobimy założenie, że samochód posiada napęd na przednie koła, to umieszczone w naszej tabeli kółka wskazywać będą prawidłową, celową reakcję kierowcy na możliwe wpływy otoczenia, krzyżyki zaś niesłuszne, fałszywe zachowanie się w tych sytuacjach. Właśnie tego rodzaju schemat przyswaja sobie kierowca na podstawie swych doświadczeń i zgodnie z nim — z reguły nieświadomie — postępuje.

Opisana tu sytuacja wykazuje pewne podobieństwa do określonego rodzaju gier towarzyskich. Mamy tu na myśli takie gry, których rezultat w ogóle nie zależy, lub co najmniej w pewnym stopniu nie zależy od sytuacji wyjściowej, dajmy na to — od początkowego układu figur do gry. Wymienić tu można na przykład warcaby, młynek i szachy. Nie da się natomiast zaliczyć tu gier czysto losowych, jak chociażby loteryjkę liczbową lub grę w kości. Te, o które chodzi w naszym przypadku, nazywają się grami strategicznymi. W przeciwieństwie do gier czysto losowych, odgrywają w nich istotną rolę osobiste decyzje co najmniej jednego z graczy. Wychodząc z tych założeń, możemy uznać naszego kierowcę za gracza w tak zwanej grze dwuosobowej. Kontrpartnerem jest tu autostrada i jej oddziaływania, które dadzą się ująć jako „ruchy" dokonywane w grze między nią a kierowcą. W odpowiedzi na „ruchy" drogi, druga strona w grze — kierowca, wybiera odpowiednie kontrposunięcia, aby w ich wyniku grę „wygrać", to znaczy pewnie dotrzeć do celu podróży. Każde z ewentualnych następstw ruchów, jakie może wybrać kierowca, nazywa się strategią. Oczywiście w naszym przypadku tylko jedno z takich następstw wyróżnione kółkiem w tabeli jest korzystne dla kierowcy i samochodu. Tego rodzaju strategia nosi nazwę strategii optymalnej. Jeden z działów cybernetyki, oparty na tzw. teorii gier, zajmuje się właśnie przedstawionym tu szkicowo typem badań, szczególnie zaś poszukiwaniem optymalnych strategii.

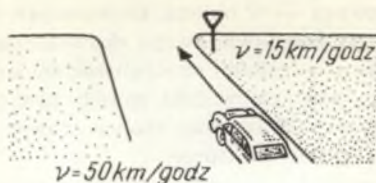
Na koniec zapoznajmy się z jeszcze jedną możliwością cybernetycznego traktowania zagadnień. W na-

szych rozważaniach nawiążemy do teorii gier. Wiemy już, jak kierowca — w obliczu szczególnych warunków drogowych, na podstawie swego doświadczenia — dokonuje wyboru określonej strategii zachowania się. Napomknęliśmy również, w jaki sposób tworzy się taką strategię. Obecnie pragniemy skoncentrować swą uwagę wyłącznie na jej strukturze.

Strategię można potraktować jako system reguł, dążący do realizacji określonego celu, przy czym reguły te — ogólnie rzecz biorąc — charakteryzują się dodatkowo tym, że przy zachowaniu pewnych warunków prowadzą krok za krokiem do nakreślonego rezultatu. Oczywiście, kierowca musi dysponować nie tylko swą strategią zachowania się w razie gołoledzi, lecz także szeregiem innych, analogicznych systemów reguł. Również zachowanie się w czasie normalnego ruchu drogowego na nieoblodzonej szosie wymaga przestrzegania wyznaczonych reguł i stopniowego rozwiązywania cząstkowych zadań, kolejno po sobie następujących. W związku z tym spróbujmy rozważyć problem skrętu w prawo, na drogę główną (z pierwszeństwem przejazdu) (ryc. 5). Przykład ów ukazuje, jak dokonanie tego lub innego następnego kroku uzależnione bywa od konkretnych obiektywnych warunków, które można przedstawić jako odpowiednie warunki logiczne. Tego typu układy reguł nazywają się a l g o r y t m a m i. Zauważmy, że i to pojęcie ma niezwykle ogólny charakter. Dokładna definicja pojęcia „algorytm" jest niezwykle trudna i nie sposób jej tu bliżej omawiać.

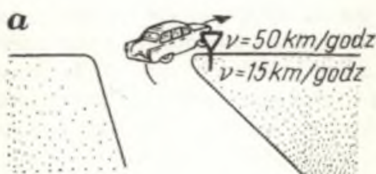
W ten sposób zaznajomiliśmy się z tak zwanym a l g o r y t m i c z n y m a s p e k t e m cybernetyki. Należałoby tu tylko dodać, że pod niejednym względem charakteryzuje się on bardziej ogólnym ujęciem aniżeli inne omawiane aspekty, w ramach których właśnie algorytmy mogą mieć zastosowanie.

I tak istnieją algorytmy konstruowania układów, algorytmy regulacji, algorytmy przetwarzania informacji, algorytmy gier (z których poznaliśmy jeden zupełnie prosty przypadek), ba, mamy nawet do czynienia z algorytmami budowania algorytmów.





a



b



Ryc. 5. Algorytm skrętu w prawo na drogę główną. Zadanie pierwsze: włączyć prawy kierunkowskaz i zmniejszyć szybkość jazdy. Drugie zadanie: spojrzeć w lewo na prawą stronę jezdni głównej; a) jezdnia wolna: wykonać skręt wozem w prawo, wyłączyć kierunkowskaz, ponownie zwiększyć szybkość jazdy. b) jezdnia zajęta: zatrzymać samochód, zadanie drugie tak długo powtarzać, aż zostanie spełniony warunek (a)

Gdybyśmy teraz podsumowali nasze dotychczasowe wywody, odpowiedź na pytanie, czym zajmuje się cybernetyka, jest dla nas jasna. A mianowicie cybernetyka bada procesy zachodzące w układach dynamicznych, z punktu widzenia problemów regulacji, informacji, teorii gier oraz algorytmu.

Nie obawiaj się matematyki!

Układy dynamiczne można badać z wielu punktów widzenia, obojętne czy należą one do przyrody ożywionej, martwej, czy odnoszą się do organizmu człowieka i społeczeństwa ludzkiego, czy też techniki. Możliwości te stwarza abstrakcyjny sposób podejścia, charakterystyczny dla cybernetyki. Tkwi on u podstaw niezwykle szerokiego zasięgu zastosowań metod cybernetycznych w najprzeróżniejszych dziedzinach nauk. Cybernetyczne metody badawcze wkraczają dziś na teren filozofii, matematyki, pedagogiki, psychologii, techniki, biologii i medycyny, językoznawstwa, nauk ekonomicznych, nauk prawnych i administracyjnych, a także socjologii i należy niewątpliwie spodziewać się, że w przyszłości obejmą swym zasięgiem i inne dziedziny. (Dokonane tutaj wyliczenie nie jest związane oczywiście z żadną próbą oceny znaczenia cybernetyki dla wymienionych gałęzi wiedzy). Z abstrakcyjnym charakterem cybernetyki łączy się ściśle jej wewnętrzny związek z metodami matematycznymi. Niektórym czytelnikom, być może, nasunie się podejrzenie, że chodzi tu głównie o oznaczenie nowymi wyrażeniami określonych już i znanych faktów. Trzeba więc dodatkowo podkreślić, że istotą cybernetyki jest przedstawianie tych nowych wyrażeń jako pojęć ściśle matematycznych. Dlatego do najrozmaitszych dziedzin wiedzy wraz z cybernetyką, w coraz większym stopniu przenikają metody matematyczne.

Nie chcielibyśmy zaszczepić Czytelnikowi jakiejś bojaźni przed cybernetyką. Przeciwnie! W książce niniejszej obejdziemy się prawie bez wzorów matematycznych i tylko w wyjątkowych przypadkach odwołamy

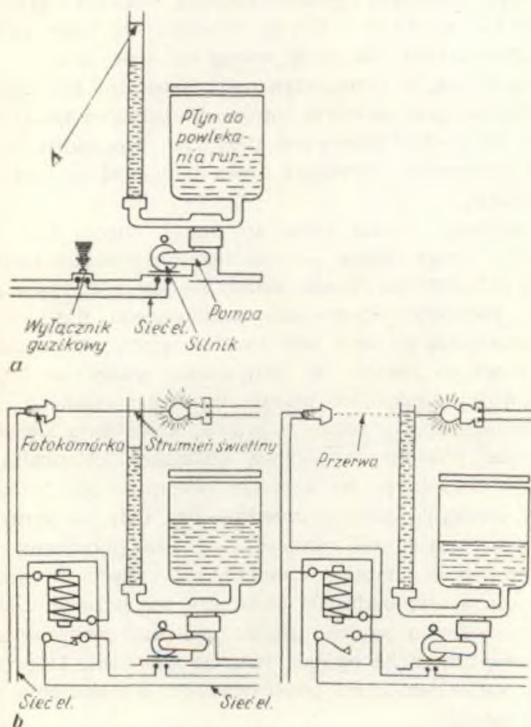
się do znajomości pewnych kwestii z zakresu wiedzy szkolnej. Musimy jednak jeszcze raz podkreślić ścisłą więź cybernetyki i matematyki, ponieważ każde głębsze wejrzenie w problemy tej nowej nauki wymaga dokładnej znajomości matematyki i jej metod. Mimo to, właśnie o cybernetyce można powiedzieć, że jej metody rozumowania — nawet bez posługiwania się matematyką — mogą prowadzić do użytecznych zastosowań praktycznych. Ukażemy to na prostym przykładzie.

W jednej z berlińskich fabryk praca przy powlekaniu lamp jarzeniowych miała bardzo monotonny charakter. Jak wiadomo, szklane rury świetlówek pokryte są wewnątrz mleczną warstwą. Nanosi się ją w ten sposób, że do pionowo ustawionych rur wpompowuje się pewien płyn, w którym rozpuszczona jest substancja tworząca warstwę. Dopływ roztworu regulowała w tym procesie robotnica. Naciskając odpowiedni guzik wstrzymywała ona lub ponownie uruchamiała dopływ roztworu do rur (ryc. 6a). Obecnie realizację tej monotonnej czynności przekazano urządzeniu cybernetycznemu, działającemu na zasadzie sprzężenia zwrotnego (ryc. 6b). Urządzenie to jest bardzo proste, a koszt jego budowy — niewielki.

Światło emitowane przez żarówkę przechodzi przez puste szklane rury. Na przeciwległej stronie umieszczono fotokomórkę. Dopóki rury są puste, światło trafia do niej i obwód prądu, w który jest włączona, pozostaje zamknięty. Z obwodem tym, za pomocą przekaźnika, połączony jest drugi obwód, który uprzednio zamykała robotnica przez przyciśnięcie guzika wyłącznika. Gdy płyn w rurze osiągnie taki poziom, że przerwie strumień świetlny padający na fotokomórkę, prąd przestaje płynąć i poprzez przekaźnik zostaje wstrzymany dopływ roztworu.

Powyższy przykład może być modelem rozwiązania podobnych sytuacji. Widać na nim wyraźnie, że aby urzeczywistnić prawdziwą „małą automatyzację" nie musimy mieć do dyspozycji ogromnych nakładów materialnych, lecz decyduje tu przede wszystkim cybernetyczny charakter realizowanej myśli przewodniej.

W naszym przypadku chodzi o zastosowanie pomysłów ze sfery regulacyjnego aspektu cybernetyki. Oczywiście niekoniecznie dotyczyć to musi tylko układów elektronicznych lub fotoelektrycznych. Niekiedy tę samą funkcję doskonale spełniają zwykłe mechaniczne układy dźwigni, pod warunkiem jednak, że są powiązane cybernetycznie. Z rozważań naszych wynika jasno, że podstawowe zasady cybernetyki nie odnoszą się wyłącznie do określonych i konkretnych realizacji materiałowych lub energetycznych.



Ryc. 6. Powlekanie rur świetlówek: a) niezautomatyzowane, b) zautomatyzowane (pompa pracuje)

Spośród pięciu aspektów cybernetyki, które mieliśmy okazję poznać, a s p e k t s y s t e m o w y należy uznać za najważniejszy. Stale bowiem w cybernetyce mamy do czynienia z układami określonego rodzaju, które podlegają samoregulacji, w których następuje przetwarzanie informacji i które biorą udział w jakiejś grze strategicznej lub realizują pewne algorytmy.

Układy dynamiczne, analizowane z owych pięciu punktów widzenia, możemy nazwać u k ł a d a m i c y b e r n e t y c z n y m i. Czym właściwie są takie cybernetyczne układy, na czym polega ich specyfika?

Wiemy już, że cybernetyk bada naturalne lub sztuczne systemy pod pewnym kątem, uwzględnia tylko niektóre ich cechy. Stosowana przy tym procedura, w języku naukowym określana bywa jako posługiwanie się abstrakcją.

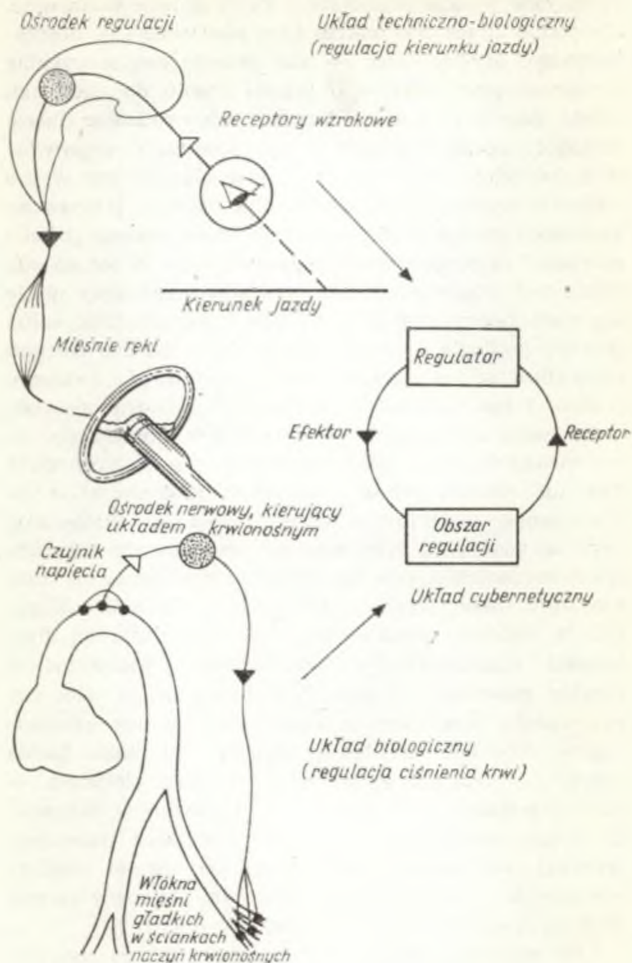
Z grubsza można sobie to mniej więcej tak wyobrazić: rzeczywistość — a szczególnie również badane przez cybernetyka realne układy — jest niezwykle złożona. Pobieżne obserwacje otaczającego nas świata przedstawiają go nam jako oszałamiającą różnorodność pojedynczych faktów. W tym splocie związków i prawidłowości naukowiec usiłuje wykryć związki o charakterze ogólnym, reguły i prawa, które dają się sformułować właśnie za pomocą abstrakcji. Abstrahując, jednym wspólnym wyrażeniem obejmuje się te same cechy właściwe różnym przedmiotom. Gdy na przykład nazwiemy szafę, stół i krzesło meblami, pomijamy tym samym szereg znamion charakterystycznych wyłącznie bądź dla szafy, bądź dla stołu czy też krzesła. Dzięki abstrakcyjnemu pojęciu „meble" na plan pierwszy wysuwa się ich cecha ogólna, taka że wszystkie te przedmioty są składnikami podstawowego wyposażenia naszych mieszkań.

Abstrahując nie pomijamy jednak całkowicie i innych, bardziej szczegółowych cech przedmiotu. Traktujemy je jako bezbarwne elementy mozaiki, która jako całość, w swej kolorystycznej różnorodności, jest wła-

śnie danym pojęciem. Jeśli owe bezbarwne kawałki nabiorą pewnych charakterystycznych cech, ogólne i abstrakcyjne pojęcie przekształci się w pojęcie konkretne, ale podpadające pod zakres tego pierwszego — abstrakcyjnego. Myśląc więc — aby jeszcze raz skorzystać z naszego przykładu — o jakimś meblu do siedzenia, chodzi nam o „coś do siedzenia". Wprowadzając dalsze szczegóły można z pojęcia „coś do siedzenia" wyprowadzić dokładniej jego rodzaj, a więc określić czy w grę wchodzi krzesło, fotel itd. Wielka wartość poznawcza abstrakcji polega właśnie na możliwości takiego „różnicowania" za pomocą poszczególnych cech. W ten sposób różne pod względem swego wyglądu przedmioty udaje się nam podciągnąć pod to samo pojęcie. Tak samo procesy podległe — wydawałoby się — bardzo różnym prawidłowościom można podporządkować jednemu prawu. I tak abstrakcje prowadzą ku istocie zjawisk.

Od czego abstrahuje więc cybernetyk, aby dotrzeć do rozważanych przez siebie „układów cybernetycznych"? Jak już wiemy, przede wszystkim abstrahuje on od konkretnego materiału, z jakiego układ jest zbudowany, czyli od tworzywa. Nieważne czy zastosowano substancje nieorganiczne, czy też związki organiczne, czy taki lub inny metal stanowi podstawowy składnik układu itd. W dalszym ciągu cybernetyk abstrahuje od konkretnej charakterystyki oddziaływań, zachodzących między częściami systemu. Nie interesuje go więc czy przeważają przemiany energetyczne, czy też substancjalne. Również nieistotną sprawą jest, jaka forma energii — energia elektryczna, cieplna, atomowa — tkwi u podstaw tych zmian i oddziaływań w układzie. W końcu abstrahuje się też od wszelkich aspektów, wynikających ze specyficznie ludzkich potrzeb, względnie stanów emocjonalnych. Taki cybernetyczny proces abstrahowania przedstawia poglądowo ryc. 7.

Aby uczynić bardziej zrozumiałym to, co ostatnio wyjaśniliśmy, a co w naszych dotychczasowych rozważaniach nie odgrywało jeszcze żadnej bezpośredniej roli, posłużymy się pewnym przykładem. Jeśli wyobrazimy sobie jakiś układ cybernetyczny obejmujący pe-



Ryc. 7. Cybernetyczny proces abstrakcji

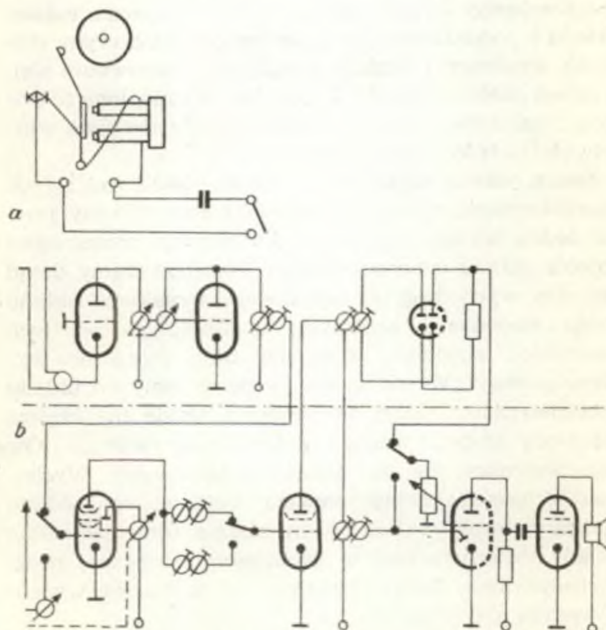
wną gałąź gospodarki narodowej, to będzie dla nas oczywiste, że np. niewykonanie planu cybernetyk uzna za zakłócenie. Cybernetyk musi jednak także uznać za zakłócenie przekroczenie wskaźników planu! Ponadplanowe nadwyżki powodują bowiem w systemach gospodarki narodowej określone skutki, które — nawet jeśli są ze wszech miar przyjemne — muszą w ten lub inny sposób być „przetworzone" w ramach tych układów. Na przykład muszą istnieć wystarczające rezerwy materiałowe, aby powstanie nadwyżki produkcyjnej było w ogóle możliwe. Należy też stworzyć odpowiednie przesłanki do tego, by prawidłowo zużytkować zwiększoną ilość produktu w pozostałych działach gospodarki.

W wyniku cybernetycznej abstrakcji pozostają nam w końcu jedynie określone charakterystyki. I tak ważny jest wzajemny związek układu i jego otoczenia, całości układu z podukładem lub z elementem składowym, stosunek struktury i funkcji (względnie zachowania się), problem zachowania stabilności itp. Wymienione tu pojęcia i zależności stanowią zarazem najważniejsze właściwości układów cybernetycznych.

Zanim jednak zajmiemy się bliżej niektórymi z tych charakterystyk, musimy uzupełnić nasze wywody jeszcze jedną uwagą, niezbędną dla pełnego zrozumienia pojęcia układu cybernetycznego. Postępowaliśmy dotąd tak, aby wychodząc od określonego i realnego układu drogą stopniowej abstrakcji uwalniać go od tych wszystkich aspektów, które nie mają charakteru cybernetycznego. W ten sposób dochodziliśmy do układu cybernetycznego, który w pewnym sensie był częścią składową rozpatrywanego układu rzeczywistego. Ów ciąg abstrakcji nie jest jednak jednoznaczny. Wychodząc z jednego i tego samego rzeczywistego układu można przecież w końcowym efekcie otrzymać różne układy cybernetyczne, w zależności od obranej drogi abstrahowania. Zademonstrujemy to na naszym wypróbowanym przykładzie.

Rozpatrywaliśmy jadący samochód jako sprzężenie dwóch podukładów, a mianowicie podukładu — kierowca i podukładu — samochód. Utworzony w ten spo-

sób układ całościowy można jednak z kolei potraktować jako podukład, jeśli weźmiemy pod uwagę zupełnie inny zespół współzależności. Rozważmy na przykład nasz układ jako część składową określonej sytuacji drogowej, w której bierze więc udział wiele pojazdów, a w której istotną rolę odgrywa całokształt oddziaływań otoczenia, z regulacją ruchu włącznie. Wówczas pojedynczy jadący samochód stanowić będzie jedynie podukład jakiegoś znacznie szerszego systemu, dajmy na to — ruchu wielkomiejskiego. Na tym polega względny charakter pojęcia układu. Oczywiście, powyższa relatywność odnosi się nie tylko do stosunku układ—podukład, ale może też dotyczyć innych aspektów układów cybernetycznych. Dla zrozumienia wielu rozważań cy-



Ryc. 8. Układy techniczne o różnym stopniu kompleksowości: a) schemat instalacji dzwonka elektrycznego, b) schemat nowoczesnego radioodbiornika

bernetycznych niezbędne jest uświadomienie sobie tej relatywności pojęcia układu.

Układy cybernetyczne można klasyfikować z różnych punktów widzenia. Na przykład kryterium takiej systematyzacji może stanowić ich kompleksowość. Rozumiemy przez to łączną liczbę elementów składowych, ilości stanów tych elementów oraz różnorodności sprzężeń między nimi. Odpowiednio do tego można odróżniać układy bardziej i mniej kompleksowe (ryc. 8).

W dalszych rozważaniach będziemy chcieli jednak uwzględnić głównie inne przekroje interesującego nas problemu. Przede wszystkim mówić będziemy o układach wykazujących różnego rodzaju stabilność (lub też różny jej stopień) w obliczu zewnętrznych i wewnętrznych zakłóceń. Następnie zajmiemy się układami, reprezentującymi różne typy doskonałości.

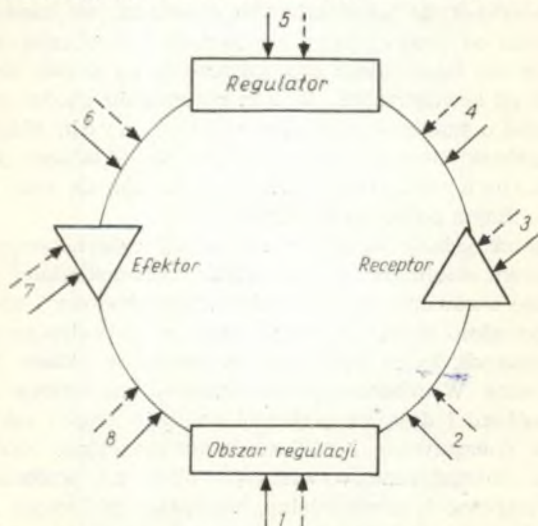
Zakłócenia nie są niepożądane

Gdy słyszymy w mowie potocznej słowo „stabilność", na przykład, że jakaś zabawka dziecinna jest bardziej stabilna od drugiej, łączy się to nam z wyobrażeniem, że nie tak łatwo ulega ona zniszczeniu na skutek działania sił zewnętrznych. W tym rozumieniu chodzi najczęściej o stabilność układów statycznych. Wiemy już jednak, że cybernetyka zajmuje się układami dynamicznymi. Odpowiednio posługuje się ona też nieco innym pojęciem stabilności.

Zanim jednak zajmiemy się bliżej cybernetycznym pojęciem stabilności, i w związku z tym dokładniej raz jeszcze omówimy nasz przykład „samochodowy", należałoby nieco uwagi poświęcić sprawie oddziaływań zewnętrznych, które wpływają na wszystkie układy dynamiczne. W cybernetyce nazywane są one ogólnie zakłóceniami i dają się podzielić na dwie grupy: zakłócenia energetyczne i zakłócenia informacyjne. Zakłócenia energetyczne wywierają wpływ na przemiany energetyczne i substancjalne, natomiast zakłócenia informacyjne oddziaływają na strumień sygnałów i informacji. Wiemy już, że istnieje między nimi oczywisty

związek (jak to chociażby ma miejsce w obwodach regulacyjnych). Na przykład zakłócający wpływ nierówności drogi na koła samochodu, mający przecież charakter energetyczny, niwelowany jest przez działania kierowcy (a więc też energetyczne), które jednak wywoływane są przez procesy informacyjne w mózgu ludzkim. Ale powinniśmy umieć odróżniać zakłócenia oddziaływające na koła samochodu od zakłóceń powstających w „kanale obserwacyjnym" między drogą i organem wzrokowym kierowcy (np. w razie złej widoczności na skutek mgły). Te ostatnie — zgodnie z naszą klasyfikacją — należą do zakłóceń informacyjnych.

Widzimy więc, że zakłócenia mogą występować nie tylko na obszarze regulacji — jak to uprzednio przyjęliśmy gwoli uproszczenia — lecz w najróżniejszych punktach układu cybernetycznego. Przedstawiono to poglądowo na ryc. 9. Obszar regulacji (1), połączenie tego obszaru z receptorem (2), sam receptor (3), kanał wiodący od receptora do regulatora (4), regulator (5), połączenie regulatora z efektorem (6), efektor (7) i wresz-



Ryc. 9. Możliwe zakłócenia energetyczne i informacyjne w obwodzie regulacji

cie sprzężenie efektora z obszarem regulacji (8) — wszędzie tam mogą zdarzyć się zakłócenia. W zależności od charakteru konkretnego wypadku decydującą rolę odgrywać tu będą zakłócenia typu energetycznego bądź informacyjnego. Bywa też, że obydwa rodzaje zakłóceń są równie istotne.

Układy cybernetyczne charakteryzują się tym, że nie podlegają one prostemu działaniu zakłóceń zewnętrznych, lecz zakłócenia te w ten lub inny sposób przetwarzają. Można by powiedzieć, że „czynią one z konieczności cnotę".

Wszystkie układy na świecie wystawione są nieuchronnie na działanie wszelkiego rodzaju zakłóceń. W domu przeszkadza nam dźwięk dzwonka u drzwi lub telefon. W czasie urlopu może nam się zdarzyć, że zmorą stanie się jakiś ryczący głośnik na plaży. U Goethego kategoria zakłócenia znalazła swój poetycki wyraz, gdy Faust niezadowolony z pukania swego famulusa Wagnera mówi o „duchowych zjaw urokach", zakłóconych przez „suchego mędrka". Nieporównanie większe znaczenie mają zakłócenia w produkcji, szczególnie w technice. Ich skutki można zaobserwować w każdym zakładzie: jakieś narzędzie uległo zużyciu, zahamowany został dopływ materiału do pewnej maszyny, zepsuł się generator prądu itd.

O ile pierwsze przytoczone przykłady dotyczyły układu cybernetycznego (układ ludzki), przetwarzającego zakłócenia, o tyle pozostałe mówią o zwykłych układach niecybernetycznych, narażonych na działanie zakłóceń i zupełnie wobec nich bezradnych, niezdolnych ani do zniwelowania powstałych skutków, ani do sparaliżowania ich wpływu.

Zakłócenia można opanować dwoma sposobami. Jeden z nich polega na maksymalnej eliminacji zakłóceń i niedopuszczaniu do ich zadziałania. Osiągnąć to można na przykład stosując do obróbki surowca odpowiednio trwałe narzędzia, wykonane ze stali o wysokich parametrach wytrzymałościowych, organizując odpowiednie rezerwy materiałowe zapewniające ciągłość zaopatrzenia itp. Tego rodzaju zabezpieczenie przed

zakłóceniami jest niezwykle ważne i z chwilą pojawienia się cybernetyki bynajmniej nie straciło na aktualności. Nie sposób na przykład zgodzić się z poglądem, że układ, jakim jest człowiek, może w pełni przetwarzać zakłócenia, gdy np. w czasie urlopu radiowęzeł na plaży nieustannie nam przeszkadza. Możemy natomiast wpłynąć na to, aby używano go jedynie dla nadawania ważnych komunikatów. Układy cybernetyczne, które — jak to mówimy — przetwarzają zakłócenia, mają jednak dużą przewagę nad niecybernetycznymi układami mechanicznymi. Te ostatnie zakładają niejako istnienie środowiska idealnego, względnie ich konstruktorzy starają się im tego rodzaju otoczenie stworzyć — chodzi tu o możliwie najpełniejszą eliminację wpływów zakłócających. Dynamiczne układy cybernetyczne opierają się na istnieniu wzajemnych oddziaływań zachodzących nieprzerwanie między rozmaitymi układami. Wiadomo również, że każdy układ wystawiony jest na działanie wielorakich zakłóceń zewnętrznych, które mogą być dla danego układu szkodliwe lub pożyteczne. Układy cybernetyczne „usiłują" ująć takie zakłócenia organizacyjnie, podporządkować swym celom i wykorzystać dla swoich potrzeb.

Dotychczas panował w pewnym sensie „klasyczny" sposób myślenia, którego zamierzeniem była maksymalna eliminacja zakłóceń, natomiast podejście cybernetyczne jest jego uzupełnieniem. Cybernetyczny układ techniczny i ekonomiczny przetwarza zakłócenia, analizuje nieprzyjemne zakłócenia i „organizuje" przypadkowe oddziaływania. Zreasumujmy: klasyczny układ dynamiczny działa wtedy, jeśli znane są z góry dokładnie wszystkie zakłócenia i można przedsięwziąć odpowiednie środki zaradcze. Dla przypadków nie ma tu miejsca. Układ cybernetyczny nie musi zawczasu „wiedzieć" wszystkiego. Funkcjonuje pomimo występowania pewnego rodzaju przypadkowych oddziaływań, bez uprzedniego uwzględniania w kalkulacji swego postępowania każdego z tych zakłóceń. Spróbujmy wyjaśnić to na przykładzie układów biologicznych. Pierwszemu rodzajowi układów odpowiadają organizmy, których

sposób zachowania się w obliczu każdej sytuacji życiowej ma charakter dziedziczny. W drugim wypadku nie wszystkie reakcje są odziedziczone, niektóre muszą być dopiero nabyte w toku wzajemnego oddziaływania ze środowiskiem.

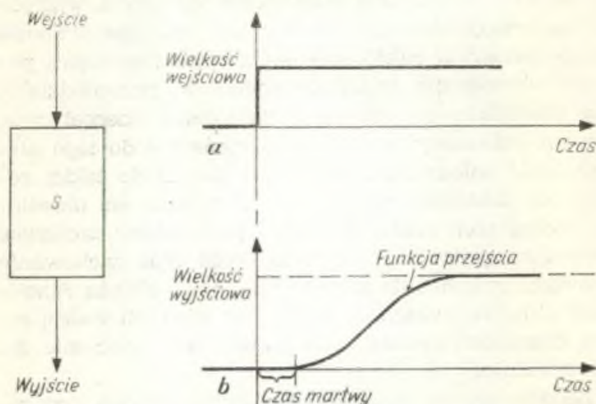
W następstwie dotychczasowych rozważań łatwiej nam będzie zrozumieć cybernetyczne pojęcie stabilności. Układ cybernetyczny nazywa się stabilnym, względnie zachowuje się w sposób stabilny, jeśli jest w stanie zrekompensować zakłócenia pochodzące z zewnątrz, poprzez wewnętrzne, właściwe systemowi przeciwdziałania (obojętnie, czy chodzi o zakłócenia energetyczne, czy też informacyjne). W przeciwieństwie do tego niestabilność polega na niezdolności układu do takiej reakcji na zakłócenia zewnętrzne (względnie na określony rodzaj tych zakłóceń), która pozwoliłaby zachować wewnętrzną strukturę systemu. Tego typu zachowanie prowadzi w końcu do zniszczenia danego układu. Stabilność układów cybernetycznych jest więc ich ważną cechą charakterystyczną i ma podstawowe znaczenie dla ich trwałości.

Zgodnie z tym, co powiedzieliśmy przedtem, ten rodzaj stabilności w żadnym razie nie oznacza pełnej niezmienności aktualnego stanu jakiegoś układu, lecz tylko powstawanie pod wpływem zewnętrznych oddziaływań ograniczonego zakresu zmian, a często również i powrót do stanu początkowego. Z filozoficznego punktu widzenia mamy tu do czynienia z jednym spośród wielu aspektów związku między zmianami ilościowymi i jakościowymi. Jeśli układ jest stabilny (w sensie przytoczonym poprzednio), to zmiany ilościowe, powstające pod wpływem zakłóceń zewętrznych (lub także wewnętrznych) nie prowadzą do zmian jakościowych.

Powrót do stanu początkowego, po wystąpieniu zakłóceń, może mieć bardzo rozmaity charakter. Przedstawimy to znów na przykładzie naszego samochodu. Przy okazji zapoznamy się ponadto z innymi ważnymi pojęciami cybernetycznymi. Przypomnijmy sobie, w jaki sposób nasz układ kierowca—samochód reaguje na

zakłócenia. Pamiętamy owo niezwykłe oscylowanie wokół kierunku jazdy na wprost i stopniowe powracanie do niego.

Zanim zajmiemy się tym bliżej, rozpatrzmy (w sposób ogólny) jak zachowuje się układ pod wpływem zakłóceń zewnętrznych. Wybierzemy w tym celu dowolny układ cybernetyczny (ryc. 10). Układ *S* posiada jedno wejście



Ryc. 10. Reakcja układu na skokową zmianę wielkości wejściowej

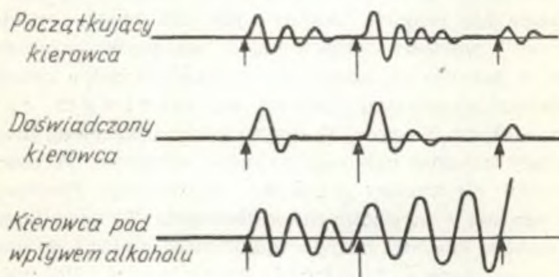
i jedno wyjście (w literaturze z zakresu cybernetyki często używa się tu angielskich wyrażeń *input* i *output*). Charakter tych obydwu elementów pozostawiamy poza sferą naszych rozważań. Wejście może być dowolnym parametrem fizycznym lub też określonym strumieniem informacji. Może jednak równie dobrze chodzić o oddziaływania na układ społeczny, np. na gospodarkę narodową lub jej podukład. Rolę wejścia mógłby pełnić w tym przypadku surowiec dostarczany do określonego zakładu produkcyjnego (do układu *S*). Wyjściem zaś byłby tu gotowy produkt. Obojętne, jaki jest konkretny typ procesu w układzie — za każdym razem istnieje ustalone przyporządkowanie wejścia do wyjścia lub — mówiąc dokładniej — danej wartości wielkości wyjściowej do wartości wielkości wejścio-

wej. Oczywiście, układ może posiadać wiele wejść i wyjść. Spotykamy się z tym szczególnie przy układach kompleksowych. Nie będziemy jednak bliżej w to wnikać.

Związek funkcjonalny między wielkością wejściową i wyjściową stanowi ważną charakterystykę układów dynamicznych. Ujawnia się to wyraźnie wtedy, gdy wartość wielkości wejściowej polega na skokowej zmianie stanu początkowego (ryc. 10a). Wartość wielkości wyjściowej zmienia się wówczas w sposób specyficzny dla danego układu, na przykład zgodnie z przebiegiem krzywej ukazanej na ryc. 10b. Występuje przy tym interesujące zjawisko; początkowo układ praktycznie w ogóle nie reaguje, „zajęty" jest całkowicie „wchłonięciem" wartości wejściowej i jej przetwarzaniem. Czas, w którym nie następują w zasadzie żadne zmiany wielkości wyjściowej, nazywa się martwym czasem układu. Na ryc. 10b jest to odcinek krzywej, przylegający nieomal całkowicie do osi odciętych. Wreszcie dochodzi do zmiany wielkości wyjściowej. Przebiega ona zgodnie z określoną prawidłowością. To specyficzne dla danego systemu przyporządkowanie wyjścia do wejścia nosi nazwę funkcji przejścia. Po upływie pewnego czasu — tak zwanego czasu przejścia — ustala się nowa wartość wielkości wyjściowej. Na ryc. 10b jest to linia przerywana, równoległa do osi czasu.

Powyższe ogólne rozważania wyjaśnimy sobie teraz bliżej — jak to zapowiedzieliśmy — na naszym przykładzie samochodowym. I tu także zakłócenie (np. poślizg kół) lub wejście informacji nie może być przetworzone błyskawicznie i bez żadnego przejścia tak, aby samochód w mgnieniu oka wrócił do swego prawidłowego położenia. A więc i tutaj należy się liczyć z istnieniem procesu przejściowego. Gwoli prostoty ograniczymy się tylko do zakłóceń, działających na obszar regulacji. Możemy je potraktować jako oddziaływania nagłe. Będziemy więc mieli do czynienia nie — jak to miało miejsce w przypadku przedstawionym na ryc. 10 — ze skokowo zmienioną, ale utrzymującą się

następnie wielkością wyjściową, lecz ze zmianami szybko mijającymi, uderzeniowymi, czyli z impulsami. Ryc. 11 przedstawia poglądowo zmiany wielkości regulowanej (kierunku na wprost) pod wpływem takich zakłócających impulsów. Początkujący kierowca na zakłócenia zewnętrzne reaguje żywiołowo. Jego przeciwdziałanie częściej bywa przesadne, wywołuje on też — szczególnie przy większych zakłóceniach — odchylenia w lewo i w prawo i stopniowo zmniejszając kołysanie wozu wyprowadza go z powrotem na prostą. Doświadczony kierowca zachowuje się bardziej świadomie. Już po niewielu korekturach wóz zostaje prze-



Ryc. 11. Zmiany wielkości regulowanej — „kierunku na wprost" — pod wpływem impulsów zakłócających

zeń właściwie skierowany. Jak to widać na rysunku, przy drobnych zakłóceniach może to nawet nastąpić natychmiast. Trzecia krzywa obrazuje wtórny wpływ alkoholu na centralny układ nerwowy, odgrywający decydującą rolę w sterowaniu samochodem. Kierowca reaguje tak powoli, że w ogóle nie może wyprostować samochodu, tym bardziej że jego ruchy kierownicą są zbyt gwałtowne i odchylenia pojazdu od normalnego kierunku jazdy stają się coraz większe.

W przeciwieństwie do dwóch poprzednich wariantów, w których wahnięcia zostają „wytłumione", tu układ ulega niejako „rozkołysaniu", co prowadzi w końcu do katastrofy. Nie sposób już zawrócić wozu na prostą drogę i ląduje on w rezultacie w przydrożnym rowie.

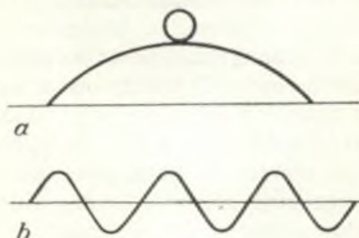
najeżdża na drzewo bądź zderza się z innym samochodem. Dwie pierwsze krzywe na ryc. 11 dotyczą stabilnych układów regulacji, natomiast układ z kierowcą znajdującym się pod wpływem alkoholu jest niestabilny. Jak już powiedzieliśmy, niestabilne funkcjonowanie prowadzi do zniszczenia układu.

Zaznaczyliśmy przedtem, że istnieje różnica w sposobie regulacji, dokonywanej przez początkującego i doświadczonego kierowcę. Graficzny obraz tego przywodzi na myśl, że dobroć mechanizmów regulacji można po prostu mierzyć szybkością, z jaką mogą one doprowadzić układ na powrót do stanu początkowego. Pojęcie d o b r o c i regulacji odgrywa istotną rolę w realizowaniu układów regulacji automatycznej.

Rycina 11 pozwala ponadto zrozumieć, że nie we wszystkich okolicznościach układ jest w stanie zachować swą stabilność względem zakłóceń zewnętrznych. Nastąpić to może nawet w odniesieniu do tego typu zakłóceń, do których układ jest przystosowany. Innymi słowy, także wytrawny kierowca może znaleźć się w sytuacji „bez wyjścia". I tak np. kamień na szosie niedostrzeżony na czas lub też większa wyrwa w jezdni mogą wywołać tak silny wstrząs w układzie, że kierowca wypuści kierownicę z rąk, wóz zmieni nagle kierunek jazdy i w konsekwencji wypadnie poza drogę. Intensywność zakłóceń określonego rodzaju może, w zasadzie, zawsze wzrosnąć do tego stopnia, że układ regulacji nie będzie więcej w stanie ich przetworzyć. Tak więc dochodzimy tu do pojęcia z a k r e s u s t a b i l n o ś c i a zarazem do pojęcia g r a n i c y s t a b i l n o ś c i. Zgodnie z dotychczasowymi wywodami możemy powiedzieć, że zakres stabilności to klasa tych stanów układu, z których potrafi on powrócić do stanu początkowego. Jeśli układ znajduje się na granicy stabilności, jego stan można przyrównać do stanu chwiejnej równowagi, określonego przez mechanikę klasyczną. Każdy najmniejszy dalszy bodziec, najbardziej znikome zakłócenie wystarczy teraz, aby układ przestał być stabilny (ryc. 12).

W ten sposób zrozumieliśmy, że pojęcie stabilności ma charakter relatywny. Względność ta odnosi się nie

tylko do ograniczonej siły zakłócenia, czy też do ograniczonego zakresu zmian wielkości danego rodzaju zakłóceń, lecz w jeszcze większej mierze uwydatnia się w stosunku do innych typów zakłóceń. Prosty układ regulacyjny jest zazwyczaj stabilny względem jednego



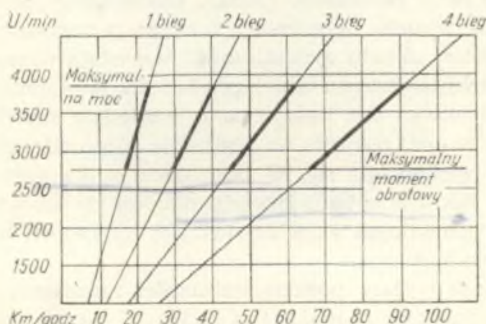
Ryc. 12. Granica stabilności: a) układ mechaniczny w stanie chwiejnej równowagi, b) jeden z wariantów zachowania się układu cybernetycznego na granicy stabilności

rodzaju zakłóceń. Jeśli więc, na przykład, samochód nasz uderzony zostanie przez inny pojazd, kierowca z reguły jest bezbronny i nie może niczemu przeciwdziałać.

Zapewne nie w każdym przypadku mamy do czynienia z takimi prostymi układami regulacyjnymi. Dlatego winniśmy na tym miejscu poczynić zastrzeżenie, że charakterystyka i prawidłowości opisanych przez nas dotąd sposobów samoregulacji nie wyczerpują wszystkich właściwości zachowania się układów cybernetycznych. Właśnie bardziej skomplikowane układy cybernetyczne, te, które występują w żywych organizmach oraz w dziedzinie zjawisk społecznych, wykazują wyższe formy stabilności. Przy tym mniejsze znaczenie ma fakt, że zakres zmienności pewnego typu zakłóceń może być tu większy, istotne jest raczej, że układy te są w stanie zachować stabilność względem więcej niż jednego rodzaju zakłóceń. „Przeskakują" one od jednego sposobu reagowania, gdy okaże się, że nie jest w pełni skuteczny, do drugiego, trzeciego, czwartego itd., aż znów przywrócona zostanie stabilność. Poszczególne rodzaje zachowań powiązane są wzajemnie ze sobą po-

przez tak zwane przełączanie stopniowe — zgodnie z potrzebą „włącza się" ten lub inny stopień. W niektórych przypadkach ustalenie, jaki stopień prowadzi do celu, tj. do zapewnienia stabilności układu, odbywa się drogą zwykłych prób. Układy tego typu noszą nazwę układów ultrastabilnych, a rodzaj występującej w nich stabilności nazywa się ultrastabilnością.

Jeśli nawet przyznamy, że elementarny przykład regulacji kierunku jazdy samochodu nie ujawnia wyżej wspomnianych właściwości, to jednak i w naszym prostym układzie kierowca—samochód da się zaobserwować pewną prostą formę przełączania stopniowego, a wraz z tym i ultrastabilności. Skrzynia przekładniowa z dźwignią zmiany biegów jest urządzeniem zapewniającym ultrastabilność określonego aspektu zachowania się naszego układu. Wielkością podlegającą regulacji i odgrywającą tu decydującą rolę nie jest kierunek jazdy, lecz szybkość wozu. Załóżmy na przykład, że „Trabant" porusza się po płaskiej szosie z prędkością 80 km/godz. Włączony będzie wówczas oczywiście czwarty bieg; przy takiej szybkości bowiem, jedynie na tym biegu uzyskuje się odpowiednią „optymalną" liczbę obrotów wału korbowego, a tym samym optymalne (co w tym wypadku oznacza: ekonomiczne) obciążenie silnika. Wykres na ryc. 13 ukazuje zakres optymalnej liczby obrotów. Znajduje się on między



Ryc. 13. Wykres biegów dla samochodu osobowego marki „Trabant" (wg. E. Preusch: *Ich fahre einen Trabant*, 1962)

maksymalnym momentem obrotowym silnika a jego maksymalną mocą. Ponadto na wykresie zaznaczono — poprzez pogrubienie odpowiednich odcinków prostych, odnoszących się do poszczególnych biegów — jakimi prędkościami należy jechać na danym biegu. Załóżmy z kolei, że droga zaczyna ostro wznosić się w górę. Powoduje to odpowiednie zmniejszenie się szybkości pojazdu. Jeśli pochyłość drogi jest zbyt duża, nie można będzie temu zapobiec nawet przez dodanie gazu. Kiedy prędkość spadnie poniżej 65 km/godz., silnik nie będzie wytwarzać dalej wystarczającego momentu obrotowego. Silnik — jako „podukład" naszego samochodu — grozi, w rozumieniu cybernetycznym, przejściem w stan niestabilny. Każdy kierowca wie, że musi teraz włączyć trzeci bieg, aby móc znów jechać z optymalną sprawnością i niezbędnym momentem obrotowym. Prędkość spada jednak nadal, wzniesienie jest zbyt duże, wówczas należy dokonać dalszej redukcji biegów — na drugi lub nawet na pierwszy.

Z punktu widzenia cybernetyki mamy tu do czynienia z każdorazowym włączeniem nowego sposobu zachowania. Jest to zarazem skokowe przejście od jednego sposobu do drugiego, lepiej przystosowanego do zaistniałej sytuacji. Pozwala ono ponownie zabezpieczyć stabilność układu.

Liczne badania wykazały, że żywe organizmy wyposażone są w podobnego rodzaju mechanizmy. Staje się dla nas w pełni zrozumiały fakt, że przystosowawcze możliwości układu dynamicznego wzrastają niepomiernie dzięki posiadaniu takich przełączników stopniowych. Już niewielka ich ilość, i to o względnie niewielkiej liczbie stopni, pozwala na realizację różnorodnych sposobów zachowania się. W tym ujęciu znika aura cudu wokół faktu adaptacji żywych układów do środowiska, który tym samym staje się dostępny procesowi naukowego wyjaśniania.

Jeszcze wyższy poziom stabilności reprezentują tak zwane układy multistabilne. Są to systemy składające się z ultrastabilnych podukładów. Podukłady te mogą być od siebie czasowo niezależne. Układ mul-

tistabilny potrafi dostosować się do określonych oddziaływań otoczenia, nie angażując się w ten proces w całości wraz z wszystkimi swymi elementami i podukładami. Celem wypełnienia nowych zadań używa się w danym wypadku zawsze tylko jednego określonego podukładu. Gdyby nie istniała taka forma stabilności, liczne rodzaje zachowań wysoce skomplikowanych układów organicznych nie byłyby zrozumiałe — mimo poznania samej istoty ultrastabilności. I tak na gruncie prostej ultrastabilności przypadkowy tok wypróbowywania różnych, będących w dyspozycji metod reagowania, może wymagać zbyt długiego czasu (pojęcie „zbyt długiego czasu" wiąże się tu z dużą liczbą reakcji, podlegających wypróbowaniu, względnie z koniecznością szybkiego usunięcia zakłócenia). Gdyby pod wpływem zakłóceń zmiany pewnych ważnych parametrów regulacyjnych układu stały się tak duże, że system ulegałby zniszczeniu, układ teoretycznie dysponowałby sposobem zachowania, mogącym sprostać skutkom zakłócenia, lecz „odnalezienie" jego nastąpiłoby za późno.

Także multistabilność można przedstawić za pomocą prostego przykładu. Spójrzmy jak zachowuje się człowiek, który uczy się prowadzić samochód. Nie poznaje od razu wszystkich reguł kierowania pojazdem. Przede wszystkim, zanim w ogóle usiądzie za kierownicą, musi nauczyć się obowiązujących przepisów kodeksu drogowego. Następnie instruktor pozwoli mu początkowo na jazdę możliwie spokojnymi ulicami i to z niedużą szybkością. Stopniowo przyzwyczajać się będzie do rozmaitych poważniejszych czynności, aż wreszcie w fazie końcowej wyjedzie na miasto w godzinach normalnego ruchu ulicznego. Owa kolejność różnych etapów nauczania zdecydowanie ułatwia opanowanie przedmiotu (w naszym przykładzie — umiejętność jazdy samochodem). Dzieje się tak głównie dlatego, że różnorodne operacje, jakich dokonuje się w czasie kierowania samochodem (uruchamianie silnika i dodawania gazu, obserwowanie sytuacji drogowej, posługiwanie się kierunkowskazami), realizowane są przez względnie izolowane podukłady naszego organizmu. U wytrawnego kierowcy

dochodzi do tego, że obserwuje on wprawdzie ruch uliczny, ale wszystkie czynności, niezbędne w danej sytuacji, wykonuje względnie niezależnie i w sposób względnie izolowany od swego aparatu obserwacyjnego. Zachodzą tu jedynie wzajemne podświadome oddziaływania pomiędzy różnymi podukładami.

Mówiliśmy dotąd o zakłóceniach, przetwarzanych przez układy w celu zachowania określonego stanu. Jak już wspomnieliśmy, wpływy otoczenia na układy cybernetyczne wykorzystywane są także i w inny sposób. Można ich użyć dla skierowania systemu ku pewnemu zewnętrznemu celowi oraz dla przeprowadzenia go z jednego stanu w drugi.

System „doskonały"

Wiemy już, że układ ultrastabilny zachowuje stabilność względem różnego rodzaju zakłóceń. Zaznaczyliśmy przy tym, że ultrastabilny układ o wystarczająco dużej kompleksowości może dysponować, odpowiednio do różnych typów zakłóceń, dość dużą liczbą różniących się między sobą sposobów zachowań. W związku z tym nasuwa się nam pytanie, czy istnieją w przyrodzie i czy są układy stabilne względem każdego rodzaju zakłóceń. Układ taki mógłby być uznany — co najmniej w zakresie charakterystyki stabilności — za doskonały.

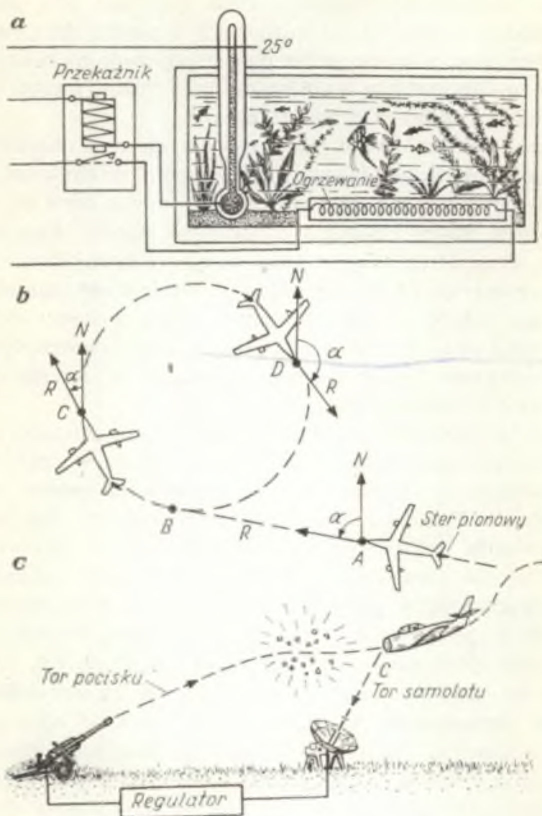
Systemy tego rodzaju w rzeczywistości nie istnieją. Nie wykryła ich żadna nauka, a z filozoficznej analizy problemu wynika, że nie są one w ogóle możliwe. Dotychczasowe doświadczenia całych pokoleń ludzkich wskazują, że wszystkie zjawiska otaczającego nas świata znajdują się w wiecznym ruchu i podlegają nieustannym zmianom. Jeden z momentów tego nieprzerwanego procesu ruchu we wszechświecie stanowi stałe powstawanie i zanikanie układów dynamicznych. Istnienie i trwałość układów ma więc jedynie względny charakter. Odnosi się to również do najważniejszej cechy układów cybernetycznych — do ich stabilności. Niezależnie od tego, na ile sposobów dany układ cyberne-

tyczny może reagować, jego stabilność daje się utrzymać tylko względem ograniczonej ilości typów oddziaływań zewnętrznych, i to w ramach określonego pola rozrzutu ich wartości. Poza tym jest ona ograniczona w czasie. Mimo to możemy z pewną dozą racji rozpatrywać poznane przez nas w poprzednim rozdziale rozmaite rodzaje stabilności, jako różne formy doskonałości układów cybernetycznych.

Stabilność jest tylko jedną z ważnych cech charakterystycznych układów cybernetycznych. Czytelnik zatem może przypuszczać, że i w zakresie innych cech da się wyróżnić mniej i bardziej rozwinięte stopnie doskonałości. Pragniemy więc z kolei zająć się tym bliżej.

Zwróćmy po pierwsze uwagę na właściwość zachowania się układów cybernetycznych, którą możemy określić jako *dążenie do celu*. Układy cybernetyczne wykazują ją w różnym stopniu i w rozmaitych formach rozwojowych.

Już na poziomie elementarnym — a mianowicie w prostym regulatorze *stałowartościowym* (stabilizatorze) — ujawnia się ukierunkowane celowo zachowanie. Tego rodzaju regulację poznaliśmy już przy omawianiu sterowania kierunkiem jazdy samochodu. Na ryc. 14a jeszcze raz przedstawiono taką regulację stałowartościową. Jako przykład służy tu termostat do regulacji temperatury wody w akwarium (widać też schemat podstawowych elementów technicznych tego układu). Zadanie regulatora polega na utrzymywaniu stałej temperatury wody, ok. 25°C. Wielkość odniesienia w naszym ogólnym schemacie struktury i funkcjonowania obwodu regulacyjnego (por. ryc. 2) jest w tym wypadku stała, a więc stanowi — jak to wówczas określiliśmy — wartość zadaną. Z owego specyficznego wymogu bierze się też nazwa „regulacja stałowartościowa" dla tego rodzaju układu. Z chwilą opadnięcia słupka rtęci poniżej 25°C, w obwodzie elektrycznym, w który włączona jest cewka przekaźnika, przerywa się kontakt rtęci z wtopionym drutem doprowadzającym prąd. W rezultacie prąd przestaje płynąć w cewce, zanika pole magnetyczne, a otwarty dotąd dzięki elektromag-



Ryc. 14. Elementarne formy celowego zachowania się struktur obwodów regulacyjnych: a) regulator temperatury (termostat) jako przykład regulacji stałowartościowej (stabilizatora), b) pilot automatyczny w czasie lotu po kole jako przykład regulacji programowej, c) zautomatyzowany system obrony przeciwlotniczej jako przykład regulacji nadążnej

nesom wyłącznik drugiego obwodu elektrycznego — zawierającego element grzejny — zamyka się. Wskutek tego woda w akwarium znów się nagrzewa, słupek rtęci wznosi się i w końcu przekracza podziałkę wskazującą 25°C. W tym momencie następuje ponowne zamknięcie pierwszego obwodu i kotwica przekaźnika przyciąga wyłącznik drugiego obwodu, przerywając w nim przepływ prądu. Kto nie zna tego całego mechanizmu i tylko obserwuje, jak temperatura stale oscyluje wokół podziałki 25°C, odnosi wrażenie, że nasz prosty układ zachowuje się w sposób celowy. Dąży on ciągle do „celu", a mianowicie ku temperaturze 25°C.

Z podobnym zachowaniem spotykamy się przy tak zwanej r e g u l a c j i p r o g r a m o w e j. Tutaj wielkość odniesienia nie ma stałej zadanej wartości, lecz zmienia się zgodnie z pewną prawidłowością bądź w zależności od czasu, bądź w zależności od innego parametru fizycznego. Dla zobrazowania regulacji programowej, na ryc. 14b przedstawiono regulację zachodzącą w trakcie wypełniania specjalnego zadania przez pilota automatycznego, tak jak to może zdarzyć się w samolotach. Polega ona na automatycznym utrzymywaniu samolotu na określonym torze kołowym. Potrzeba taka może na przykład zaistnieć, gdy samolot nie otrzyma zezwolenia na lądowanie i krążąc, oczekuje na jego udzielenie. Dla łatwiejszego zrozumienia tego rodzaju regulacji przypatrzmy się najpierw samolotowi w punkcie *A* jego toru lotu, a więc tam, gdzie leci on jeszcze po linii prostej. Kierunek taki również może być utrzymywany przez pilota automatycznego. Wielkością odniesienia będzie wówczas — podobnie jak w naszym samochodzie na prostej drodze — stały kierunek, względnie, jak to się na ogół określa, stały kąt toru lotu (na rycinach jest to kąt α, zawarty między kierunkiem północy — *N* i wyznaczonym kierunkiem lotu — *R*). Szczegóły urządzenia regulacyjnego, które pod względem technicznym może być bardzo skomplikowane, nie będą nas tu interesować. Rolę wielkości nastawczej odgrywa w omawianym przypadku zmienny kąt pionowego steru samolotu. Zmiany jego ustawienia

prowadzą do zmian kierunku lotu. Jako wielkości zakłócające występują działania wiatru oraz — ponieważ mamy do czynienia z maszyną dwusilnikową — różnice w chwilowej sile ciągu poszczególnych zespołów napędowych. Dopóki ma być utrzymywany stały kurs o ustalonym kącie α, stykamy się z regulacją stałowartościową. Załóżmy jednak teraz, że począwszy od punktu *B* samolot winien rozpocząć krążenie po kołowym torze. Oznacza to, że kąt toru lotu będzie musiał nieustannie ulegać zmianie. Jeśli samolot miałby się poruszać po takim torze ze stałą prędkością, zmiana kąta toru lotu winna następować proporcjonalnie do czasu. Ryc. 14b ukazuje samolot w punktach *C* i *D* toru kołowego, przy czym kąt posiada w nich różną wartość. Związek między wartością kąta toru lotu i czasem można wyrazić równaniem:

$$\alpha = \omega t$$

gdzie: ω jest wartością stałą (jest to tak zwana prędkość kątowa), a t — czasem.

Pilot automatyczny jest w stanie sterować lotem samolotu po kole, jeśli posiada urządzenie, powodujące poprzez regulator pilota ciągłą zmianę kąta toru lotu, zgodnie z podaną zależnością funkcyjną. Znaczy to jednak, że miejsce stałej, charakterystycznej dla prostego kursu, zająć musi zmienna wielkość odniesienia (w obydwu przypadkach chodzi o kąt toru lotu α). Wyrażenie matematyczne $\alpha = \omega t$ stanowi przy tym podstawę „programu" zmian wielkości odniesienia. Także i w przypadku tej formy regulacji zachowanie regulowanego układu wydaje się celowe. Porusza się on po ustalonym torze i utrzymuje się na nim do chwili zmiany programu lub też wyłączenia urządzeń pilota automatycznego. Zadaniem regulatora pilota automatycznego jest zabezpieczenie realizacji ustalonego i matematycznie sformułowanego programu.

W obydwu wariantach (ryc. 14a i b) istota zagadnienia sprowadza się do utrzymywania stałej wielkości odniesienia lub do jej zmiany zgodnie z wyznaczonym programem. Możliwości te zostają z góry uwzględnione w planie konstrukcyjnym układu regulacji. Można

wyobrazić sobie jeszcze inną sytuację, ważną z punktu widzenia zadań automatycznej regulacji. Występuje ona wtedy, gdy wielkość odniesienia nie jest stała ani też nie zmienia się według przepisanej, matematycznie wyrażonej zależności, lecz podlega zmianom pod wpływem jakiegoś procesu zewnętrznego. „Prawo zmienności" — matematycznie sformułowany związek funkcjonalny między wielkością odniesienia i czasem, względnie inną zadaną wielkością (jak to ma miejsce przy regulacji programowej) — nie musi tu być w ogóle znane. Tego rodzaju struktura obwodu regulacyjnego nosi nazwę r e g u l a c j i n a d ą ż n e j.

Przykładem może tu służyć ukazany na ryc. 14c bardzo uproszczony schemat jednego z możliwych działań automatycznego systemu obrony przeciwlotniczej. Zależy nam przede wszystkim na poglądowym przedstawieniu specyficznego charakteru wielkości odniesienia, właściwej dla występującego tu układu regulacji. Wspomnianym już „procesem", warunkującym zmiany wielkości odniesienia, jest w tym przypadku ruch nieprzyjacielskiego samolotu. Zrozumiałe, że ruch ten nie jest znany własnej obronie przeciwlotniczej. Przy pomocy współczesnych środków radiotechnicznych można jednak stale i dokładnie śledzić ruch samolotu oraz ciągle naprowadzać nań odpowiedni sprzęt bojowy.

Z pewnością zbyt dużą dygresją byłoby zagłębianie się w szczegóły budowy specjalnego systemu regulacji nadążnej, niezbędnego dla zautomatyzowanej obrony przeciwlotniczej. Ale wiadomo nam już, że i ten typ układu regulacji wykazuje pewien rodzaj celowego zachowania się, określonego chociażby przez samo postawienie zadania — trafienia w wyznaczony cel.

Omówione wyżej różne formy regulacji potwierdzają naszą wcześniejszą ogólną tezę, że zawsze, gdy zachodzą procesy regulacji, u ich podstaw tkwią struktury obwodów regulacyjnych, względnie zasada sprzężenia zwrotnego. Oczywiście struktury te mogą być znacznie bardziej skomplikowane. Wystąpić tu może wzajemne powiązanie wielu obwodów regulacji, z których każdy z kolei posiadać będzie odrębną i specyficzną konstruk-

cję. Mówi się wówczas o tak zwanych wieloobiegowych obwodach regulacji lub też obwodach regulacji ze sprzężeniami skośnymi.

Wiemy już, że zjawiska regulacji zawsze można przedstawić jako procesy ukierunkowane celowo. Ta strona zagadnienia, jak i w ogóle zasada obwodu regulacyjnego posiada duże znaczenie światopoglądowe i filozoficzno-teoretyczne. Zdumiewający fenomen celowego charakteru ruchu i sposobów zachowania się układów dynamicznych, jak to ma miejsce zwłaszcza w świecie żywych organizmów, zyskuje dzięki temu w pełni naturalne wytłumaczenie.

Wielu pokoleniom ludzkim te właśnie celowo ukierunkowane procesy zachodzące w biosferze jawiły się jako coś cudownego i nadnaturalnego. Ich interpretacja filozoficzna zakładała istnienie tajemniczej siły życiowej bądź też jakiejś wyższej istoty, narzucającej ten cel — na przykład w postaci upersonifikowanego boga. Dzisiaj zasada sprzężenia zwrotnego, której istnienie we wszystkich dziedzinach rzeczywistości zostało dowiedzione, pozwala nam wyjaśnić ową niezwykłość procesów życiowych poprzez w pełni poznawalne, obiektywne prawidłowości otaczającego nas świata.

W rozpatrywanych dotąd przykładach za każdym razem cel był wyznaczany bezpośrednio przez ludzi, bądź też determinowały go okoliczności zewnętrzne. Istnieją jednak także i takie układy cybernetyczne, które nie tylko zdolne są osiągnąć założone celę, ale potrafią nawet same sobie te cele wyznaczać. Najwyżej rozwiniętym systemem cybernetycznym, jaki w ogóle znamy, jest człowiek. Ale również i wśród pozaludzkich wyższych układów biologicznych spotyka się — co prawda na poziomie elementarnym — zjawiska określania i odnajdywania celu. Tego typu działania wymagają bardziej skomplikowanych urządzeń aniżeli dotąd poznane lub wspomniane w naszych opisach niektórych układów technicznych. Przede wszystkim uwzględnienie wyłącznie chwilowych oddziaływań na układ lub też tylko jego bieżących stanów nie jest wystarczające. Natomiast istnieje potrzeba, aby system

dysponował mechanizmami, zatrzymującymi i niejako przechowującymi wcześniejsze minione oddziaływania i stany oraz rejestrującymi ewentualne skutki przez te oddziaływania wywołane. Układ musi więc być zdolny do zbierania „doświadczeń" i winien wykazywać właściwość analogiczną do ludzkiej „pamięci". Dokonując cybernetycznego uogólnienia, możemy mówić o magazynowaniu informacji. Sposób, w jaki to się odbywa, jest bardzo różnorodny i zależy od specyficznych właściwości danego układu dynamicznego.

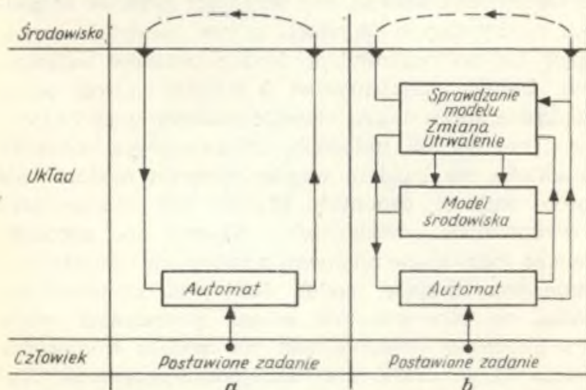
Fakt, że owe mechanizmy odgrywają ważną rolę w układach cybernetycznych występujących w przyrodzie oraz to, że można je konstruować w układach technicznych, wskazuje nam na następny aspekt „doskonałości" pewnych systemów, także przejawiający się w różnorodny sposób. Mamy tu na myśli tak zwane systemy uczące się lub też „układy „zbierające doświadczenia". Dla tego rodzaju zachowań ważna jest nie tylko sprawa rejestracji wcześniejszych zdarzeń oraz związanych z nimi sukcesów lub niepowodzeń, lecz również istnienie „aparatu", pozwalającego rozstrzygnąć, czy zamierzone działanie układu jest dlań korzystne, to znaczy, czy uwzględniając dotychczasowe doświadczenia prowadzić będzie do pozytywnego wyniku. Jeśli sami spojrzymy na siebie jako na „układy", z pewnością uda się nam dobrze zrozumieć istotę tego rodzaju zachowania się systemu. Natrafiając w czasie wycieczki, na przykład, na naszej drodze na strumyk lub rów odwadniający, nigdy nie skaczemy natychmiast na ślepo, aby dopiero po tym stwierdzić, czy udało się nam znaleźć na drugim brzegu, czy też wylądowaliśmy w wodzie. Przeciwnie, przypominamy sobie podobne sytuacje — odbywać się to będzie oczywiście w poszczególnych przypadkach nieświadomie — i z grubsza oceniamy, czy przy danej szerokości przeszkody i istniejącej długości rozbiegu dostaniemy się na drugą stronę, czy też nie. Rozgrywamy także „myślowo" różne możliwe warianty, gdy rozważamy w ogóle sensowność dokonania skoku i zastanawiamy się, czy nie lepiej zdjąć buty i skarpetki i przejść strumyk w bród.

Powyższe operacje myślowe wymagają angażowania pewnego zakresu naszych struktur świadomościowych, który w terminologii cybernetycznej nosi nazwę modelu środowiska lub modelu świata zewnętrznego. Co należy rozumieć przez „model" w naukowym sensie tego słowa, wyjaśnimy sobie dopiero w dalszym ciągu niniejszej książki. Tutaj zadowolimy się ogólnymi wyobrażeniami, związanymi z pojęciem modelu, znanymi właściwie każdemu laikowi. Model kolei żelaznej sprzedawany jako zabawka dla dzieci może być tego przykładem. Tak samo jak na podstawie funkcjonowania dziecinnego modelu kolejki możemy wyciągnąć pewne wnioski o funkcjonowaniu rzeczywistej kolei — a na tym przecież polega jeden z elementów wartości wychowawczej takiej zabawki — podobnie jesteśmy w stanie skonfrontować postawione wymagania z naszym „wewnętrznym modelem świata zewnętrznego", aby następnie rozstrzygnąć, które z nasuwających się możliwości będziemy realizować. Przykład naszej wędrówki, która przywiodła nas nad brzeg strumyka, jest oczywiście przypadkiem bardzo prymitywnym, a niezbędny dla podjęcia odpowiednio korzystnej decyzji „model" jest przy tym niezwykle prosty. Ogólnie rzecz biorąc, mamy tu jednak do czynienia z typowym dla człowieka sposobem zachowania — z zastanawianiem się.

Jeśli teraz zechcemy dowiedzieć się, co należy rozumieć przez uczenie się układu cybernetycznego, możemy również i to zademonstrować na znanym nam układzie — „człowiek".

Nauczyliśmy się czegoś nowego, gdy na podstawie zdobytej dopiero co wiedzy jesteśmy w stanie korzystniej kształtować nasze zachowanie, mądrzej reagować lub — inaczej się wyrażając — spośród różnych możliwych rozwiązań wybierać najdogodniejsze. Z punktu widzenia cybernetyki oznacza to ulepszenie modelu świata zewnętrznego, jaki do tej pory zdołał ukształtować się w naszej świadomości. Uczenie się układu cybernetycznego polega więc na stałym ulepszaniu swego wewnętrznego modelu środowiska na podstawie ana-

lizy sukcesów i porażek — doznawanych w ciągu wielu lat — a więc odpowiednio do swych doświadczeń. Powyższe pojęcie uczenia się, wprowadzone przez zachodnioniemieckiego uczonego — specjalistę z zakresu teorii informacji i cybernetyka, Karla Steinbucha, posiada niezwykle ogólny charakter i nie ogranicza się tylko do człowieka. Odnosi się ono do wszelkich układów dynamicznych, odznaczających się tak zwaną uczącą się strukturą. Mamy tu znów do czynienia z typową abstrakcją cybernetyczną. Na ryc. 15 przeciwstawiono schematy blokowe dwóch układów: jednego bez struktury uczącej się i drugiego mającego tę strukturę. To, co przedstawiliśmy już na przykładzie ludzkiego zachowania, tutaj odniesione zostało do sfery techniki. Chodzi o zasadniczą możliwość realizacji dwóch typów technicznych układów automatycznych. W przypadku *a* automat związany jest bezpośrednio z otoczeniem. Sukces lub niepowodzenie jego działań podlegają w nim co prawda rejestracji, następuje też wybór najkorzystniejszego wariantu, ale istnieje niebezpieczeństwo, że automat przedsięweźmie też działania, prowadzące do katastrof w otoczeniu lub do własnego samozniszczenia. W przypadku *b* mamy do czynienia ze



Ryc. 15. Układy o strukturze uczącej się i układy nie posiadające tej struktury (wg K. Steinbucha)

znacznie ulepszonym automatem. Wprawdzie i ten powiązany jest ze środowiskiem, jednak jego „decyzje" nie przekształcają się bezpośrednio w oddziaływania na zewnątrz, lecz najpierw — jak to już poznaliśmy — „sprawdza" on możliwe skutki na modelu środowiska. Dopiero gdy znaleziony zostanie w ten sposób wariant najkorzystniejszy, automat oddziałuje na otoczenie.

Taki model środowiska nie wystarcza oczywiście, aby w sposób dostatecznie niezawodny zapobiec katastrofom. Zakładamy bowiem model o abstrakcyjnie uniwersalnym charakterze, nie istniejący przecież w żadnych rzeczywistych układach, a tym bardziej nie nadający się do realizacji w formie układów technicznych. Dlatego nasz automat *b* posiada jeszcze jedno urządzenie, które można określić mianem w e r y f i k a t o r a modelu. W układach, dysponujących modelem środowiska, na każdym etapie „rozwoju modelu" nie sposób uniknąć drobnych błędów lub niepowodzeń w wykonanych „działaniach". Właśnie one uwzględniane są (oczywiście na równi z sukcesami) przez urządzenie weryfikujące model. Jeśli oddziaływanie automatu na otoczenie nie osiąga powodzenia mimo uprzedniego sprawdzenia tego na modelu środowiska, oznacza to, że model nie funkcjonuje normalnie. Natomiast gdy działanie zostaje uwieńczone sukcesem, układ potraktować może ten fakt jako potwierdzenie założonej charakterystyki modelowej. W ten sposób przebiega dalsze doskonalenie modelu środowiska.

Ryc. 15 przedstawia układy techniczne, a więc za każdym razem automat otrzymać musi od człowieka ogólne polecenie, bez precyzowania jednak przy tym dokładniejszych wskazówek co do konkretnej metody jego wykonania. W obu przypadkach, ukazanych na ryc. 15 automat jest w stanie samodzielnie odnaleźć właściwą metodę wypełnienia postawionego zadania.

W drugiej części niniejszej książki zajmiemy się problemami wpływu, jaki może wywrzeć rozwój takich automatów na sytuację człowieka w procesie produkcji, a pośrednio w ogóle cały współczesny i przyszły świat maszyn na ludzi i społeczeństwo. Należy

przy tym podkreślić, że budowa uczących się automatów nie jest bynajmniej utopią, jak to na pierwszy rzut oka może się wydawać. Pierwsze kroki w tym kierunku są już poczynione.

Z kolei zajmiemy się następną właściwością, charakteryzującą stopień doskonałości pewnych wysoko rozwiniętych układów. Rozważając problem stabilności układów dynamicznych, zwróciliśmy m. in. uwagę na dwie szczególne cechy ich zachowań. Po pierwsze, stabilność układów cybernetycznych posiada charakter dynamiczny, to znaczy systemy nie trwające niezmiennie w określonym stanie, lecz podlegając mniejszym lub większym odchyleniom starają się nie oddalać zbytnio od niego lub też usiłują ponownie się do niego zbliżyć. Po drugie, układy zachowują stabilność w obliczu różnego typu zakłóceń wewnętrznych i zewnętrznych, będących właśnie przyczynami wspomnianych odchyleń. Jeśli teraz pominiemy wszystkie te szczegóły i będziemy abstrahować od spraw dopuszczalnych odchyleń, jak i typu oraz wielkości zakłóceń je wywołujących, dotrzemy do innej ważnej charakterystyki układów cybernetycznych, do tak zwanej n i e z a w o d n o ś c i. Rozumie się przez to zdolność funkcjonowania układu bądź do określonego momentu, bądź też w jakimś określonym punkcie czasowym. W naszych rozważaniach ograniczymy się do niezawodności w sensie sprawności w określonym momencie lub do pewnego (późniejszego) momentu czasu.

Badanie układów dynamicznych pod kątem ich niezawodności posiada niezwykle doniosłe znaczenie dla systemów złożonych, składających się z dużej ilości części lub z podukładów, które same z kolei zawierają wiele elementów składowych. Znamy to wszyscy z codziennego doświadczenia. Przypomnijmy sobie chociażby pierwsze próbne transmisje telewizyjne. Często zanikał wówczas obraz lub dźwięk bądź też obraz bywał groteskowo zniekształcony. Cybernetyczna interpretacja tych faktów wskazuje, że ich istotną przyczyną była trudność niezawodnego opanowania bardzo złożonych systemów. A telewizyjne układy nagrywające, tran-

smisyjne i odbiorcze są właśnie skomplikowane, chociaż mając charakter dynamiczny nie są w zasadzie jeszcze układami cybernetycznymi.

W jaki sposób można zwiększyć niezawodność systemu, składającego się z bardzo dużej liczby części? Jedną z metod byłoby odpowiednie zwiększenie niezawodności każdego elementu składowego. Gdy w naszym radioodbiorniku przepali się choćby jeden kondensator, to aparat „milknie". W tego rodzaju układach ich niezawodność zależy od niezawodności „najsłabszego elementu". Potoczny zwrot o łańcuchu, który pęka w swym najsłabszym ogniwie, jest tu najlepszą ilustracją.

Wspomniana już możliwość zwiększenia niezawodności skomplikowanych układów jest powszechnie wykorzystywana we współczesnej technice. Wynikiem tego jest na przykład fakt, że lampy elektronowe, używane w naszych nowoczesnych radioodbiornikach i aparaturze radiotechnicznej, są znacznie bardziej sprawne i posiadają o wiele większą żywotność aniżeli ich poprzedniczki z lat dwudziestych lub trzydziestych. W przypadku szczególnie dużych wymagań mamy do dyspozycji lampy o niezwykle długiej żywotności.

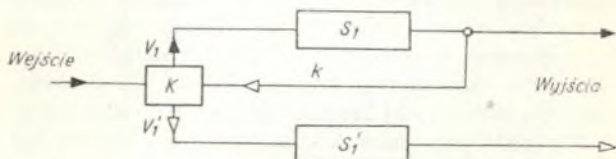
Wraz z zastosowaniem półprzewodników i zamianą układów lampowych na tranzystorowe wzrasta znacznie niezawodność urządzeń radiotechnicznych (żywotność tranzystorów jest praktycznie nieograniczona). Oczywiście, zakłócenia pojawiają się nie tylko w lampach, równie dobrze zepsuć się mogą opory i kondensatory, nastąpić może przerwanie przewodów itd.

Chociaż rozwój techniki przynosi nam coraz więcej lepszych urządzeń zwiększających niezawodność wszystkich tych elementów, efekty ich zastosowania są jednak ograniczone gdy chodzi o układy wysoce złożone. Podobnie bowiem jak nie istnieją układy absolutnie stabilne, tak i nie ma absolutnie niezawodnych elementów, składających się na te systemy. Względny charakter niezawodności i stabilności posiada w gruncie rzeczy te same źródła. Wszystkie układy świata materialnego oddziaływają ciągle ze swym otoczeniem, i nieprzerwa-

nie zmieniają swe parametry, co doprowadza w końcu do jakościowej zmiany tych układów, a tym samym do przejścia ich z jednej postaci w drugą. Nowa struktura i funkcja układu mogą być jednak dla danego celu zupełnie nieprzydatne. Tymczasem powstawanie coraz bardziej złożonych systemów stanowi właśnie szczególną cechę rozwoju współczesnej techniki. Wystarczy wspomnieć tu o konstrukcjach elektronicznych maszyn matematycznych lub o rakietach dla badań kosmicznych, które pod względem swej złożoności mogą być z nimi porównywane. Stwierdzenie, że w najbliższej przyszłości układy techniczne staną się o wiele bardziej skomplikowane niż obecnie, nie jest zbyt śmiałym proroctwem. Jeśliby zaś wspomniana metoda zwiększania niezawodności wysoce złożonych układów okazać się miała jedyną, zmierzalibyśmy niejako ku „największemu z technicznie możliwych układów", stanowiącemu tym samym kres możliwości konstrukcyjnych człowieka. Tutaj biegłaby granica rozwoju techniki. Nic podobnego nam jednak nie grozi. Istnieją bowiem — i tu dochodzimy do właściwej problematyki cybernetycznej — i inne drogi polepszania niezawodności układów dynamicznych. Przykładów na to dostarcza sama przyroda. Układy biologiczne, znajdujące się nawet na względnie niskim poziomie rozwoju, są pod względem swej budowy wewnętrznej nieporównanie bardziej skomplikowane aniżeli maksymalnie złożone układy dzisiejszej techniki. „Części składowe" układów biologicznych są natomiast często znacznie bardziej zawodne niż elementy urządzeń technicznych. Z drugiej strony wiemy jednak, że właśnie systemy biologiczne jako układy kompleksowe funkcjonują niezwykle pewnie. Żaden człowiek nie umiera na przykład na skutek skaleczenia palca, chociaż mógł on przy tym uszkodzić lub zniszczyć znaczną ilość „części" swego ciała. Ba, jak mówią nam o tym wyniki obserwacji odpowiednich zranień, nawet uszkodzenie pewnych części mózgu ludzkiego nie musi prowadzić do poważniejszych zakłóceń zdolności intelektualnych i fizjologicznych organizmu danego człowieka.

Powyższe fakty prowadzą nas do wniosku, że istnieje możliwość skonstruowania względnie niezawodnego systemu z względnie zawodnych elementów lub podukładów. Biologia wskazała nam, że takie układy rzeczywiście istnieją, a cybernetyka uczy, jak je budować i jakie są podstawy ich działania. Wiąże się to ze specyficznymi właściwościami struktury takich układów dynamicznych, a przede wszystkim zwłaszcza z tak zwaną n a d m i e r n o ś c i ą (czyli r e d u n d a n c j ą) ich organizacji wewnętrznej. Wyjaśnimy to na prostym przykładzie (ryc. 16).

Niech układ S_1 stanowi podukład większego i bardziej skomplikowanego systemu, którego funkcjonowanie winno być w sposób maksymalny zabezpieczone.



Ryc. 16. Dublowanie

Najprostsze zabezpieczenie polega w danym przypadku na zdublowaniu tego podukładu, co uwidoczniliśmy na schemacie blokowym, wprowadzając do niego układ S'_1. Oprócz obydwu układów S_1 i S'_1 niezbędny jest ponadto mechanizm kontrolny K, który poprzez połączenie k sprawdza, czy wejście naszego systemu zostaje przetworzone w układzie S_1 i czy w efekcie następuje odpowiednia „akcja" na wyjściu. Jeśli z jakiegokolwiek powodu proces ten nie zajdzie, mechanizm kontrolny wyłącza automatycznie połączenie V_1, prowadzące do S_1 i w to miejsce uruchamia połączenie V'_1 do S'_1, dzięki czemu wymagany przebieg zostaje zabezpieczony przez „element zastępczy" S'_1. Takie dublowanie (podwajanie) części składowych lub całych podzespołów jest już od pewnego czasu praktycznie stosowane w technice, na przykład w urządzeniach automatycznych bez personelu obsługującego i tam gdzie nie ma możliwości

przeprowadzenia napraw. I tak automatyczne stacje meteorologiczne posiadają często dwa nadajniki, aby przekazywać informacje o pogodzie do odległej centrali nawet wówczas, gdy jeden z nadajników ulegnie uszkodzeniu.

Zrozumiałe, że opisana wyżej metoda zapewnia ograniczoną niezawodność. Jeśli bowiem zawiedzie także układ S'_1, nie ma już dalszej możliwości zastąpienia funkcji S_1. W razie przerwania połączeń, na przykład przy przerwaniu połączenia k wiodącego do mechanizmu kontrolnego, układ S_1 przestaje działać nawet wtedy, gdy S'_1 jest jeszcze sprawny. Wreszcie uszkodzenia mogą wystąpić też w samym mechanizmie kontrolnym. Zastosowanie więc tego rodzaju układu będzie miało sens tylko wówczas, gdy niezawodność podukładów S_1 i S'_1 będzie znacznie mniejsza niż mechanizmu kontrolnego i połączeń.

Nasz elementarny przykład ukazuje, jak już najprostsze formy podwyższania niezawodności za pomocą scharakteryzowanej wyżej metody cybernetycznej, wymagają zwiększania liczby elementów względnie podukładów i połączeń. Powstaje dzięki temu to, co nazwać można „nadmiarem struktury" lub też „nadmiarem organizacji". Bardziej niezawodny system, zbudowany właśnie w ten sposób, odznacza się więc — jak stwierdziliśmy — pewną nadmiernością, czyli redundancją w zakresie swej wewnętrznej organizacji.

Wszystkie żywe układy są ukształtowane podobnie. Można w nich zwłaszcza zaobserwować zasadę dublowania poszczególnych elementów lub połączeń (jak np. połączenia nerwowe organów zmysłowych z mózgiem), co istotnie podwyższa niezawodność. W żywych organizmach temu celowi służą ponadto jeszcze inne zasady. Niezwykle ważną formą zwiększania niezawodności struktur biologicznych jest, ujawniająca się szczególnie silnie w przypadku zranień, regeneracja podukładów. Przeważająca część komórek, z których składa się żywy organizm, stale się reprodukuje — a w niektórych sytuacjach regeneruje. Wreszcie wiele spośród struktur biologicznych nadaje się do bardziej uniwersalnego

użytkowania aniżeli większość dzisiejszych elementów składowych świata techniki. Dzieje się tak dlatego, że są w stanie spełniać funkcje, do których pierwotnie w ogóle nie były „przewidziane", mogą bowiem zastępować inne podukłady, uszkodzone w pewnych okolicznościach.

Dlatego cybernetyka usiłuje badać i wykrywać najogólniejsze formy niezawodności, urzeczywistniane w strukturach organicznych, w oparciu o ścisłe podstawy energetyczne i substancjalne. Prowadzi to nie tylko do głębszego zrozumienia procesów biologicznych, ale jednocześnie do zupełnie nowych rozwiązań konstrukcyjno-technicznych przy projektowaniu wysoce złożonych sztucznych układów funkcjonujących sprawnie nawet wówczas, gdy znaczniejsza ilość ich części składowych, względnie większa część ich struktury ulegnie uszkodzeniu lub zniszczeniu. Już obecnie prowadzi się badania w tym kierunku. Ze względu na niezwykle ogólny charakter odkrytych w ramach cybernetyki praw, posiadają one znaczenie nie tylko dla techniki, ale na przykład także w zakresie rozważań nad przyszłą organizacją ekonomiki socjalistycznej. Chodzi tu o świadome uzupełnienie istniejących struktur nowymi, mogącymi zapewnić niezawodne funkcjonowanie całości systemu lub poszczególnych podukładów gospodarki narodowej mimo tych lub innych szkodliwych zakłóceń i ubytków.

Na zakończenie niniejszego rozdziału pragniemy rozważyć, chociaż pobieżnie, dwa dalsze aspekty doskonałości układów. Mamy tu na myśli zjawiska samoreprodukcji i samorozwoju układów cybernetycznych. Obydwa znane są dobrze biologii. O istnieniu samoreprodukcji przekonujemy się obserwując chociażby wykluwanie się pisklęcia z kurzego jaja. Z punktu widzenia cybernetyki jeden układ stworzył tu drugi, względem niego równoważny.

Nauki przyrodnicze zebrały przebogaty materiał faktograficzny i wykryły wiele prawidłowych związków dotyczących zjawisk samoreprodukcji i samorozwoju. Badania cybernetyczne w tej dziedzinie powinny do-

prowadzić do nowych wyników. Już teraz zarysowuje się możliwość stworzenia ogólnej teorii samoreprodukcji i samorozwoju, nie związanej z konkretnymi, ściśle określonymi procesami substancjalnymi i energetycznymi.

Pierwsze próby poczynił w tym kierunku amerykański matematyk John v. Neumann. Usiłował on ściśle na drodze matematycznej wykazać możliwość konstrukcji urządzenia technicznego, które mogłoby się reprodukować, to znaczy wytworzyć drugi, identyczny w stosunku do siebie układ. Nie wnikając bliżej w treść tych wywodów, należy wspomnieć, że maszyna taka musiałaby się składać z ponad 100 000 części składowych. Do tej chwili nie możemy jej jeszcze zbudować. Nie pomniejsza to w żadnym razie znaczenia dowodu i przeprowadzonych analiz, stanowiących przecież istotny wkład do, wspomnianej przez nas i uznanej za możliwą, ogólnej teorii samoreprodukcji i samorozwoju. Mówimy w tym kontekście także o samorozwoju, gdyż samoreprodukcja stanowi dlań najbardziej podstawową przesłankę. Reprodukcję identycznych struktur można uznać za część składową, element, moment każdego procesu samorozwoju. Rozwój bowiem nie dotyczy nigdy naraz wszystkich struktur częściowych i elementów złożonego układu, lecz tylko poszczególnych struktur i grup elementów.

Rozważania te mogą być aktualne i dla ekonomiki. Albowiem gospodarkę narodową, a co za tym idzie i całościowy system społeczny rozpatrywać można jako samoregulujące i samorozwijające się układy.

2

Co daje nam cybernetyka?

W naszych dotychczasowych rozważaniach szukaliśmy odpowiedzi na pytanie, czym jest cybernetyka, co stanowi przedmiot jej zainteresowań, czym ona się zajmuje. Poniżej pragniemy dokonać przeglądu konsekwencji i korzyści, jakie wnosi cybernetyka w najrozmaitsze rejony teorii i praktyki, nauki i życia społecznego. Należy tu wymienić przede wszystkim trzy dziedziny, w które wtargnęła cybernetyka i jej metody, doprowadzając już do pierwszych efektów i pozwalając spodziewać się jeszcze istotniejszych rezultatów w przyszłości.

Cybernetyka stała się ważnym narzędziem badania naukowego w najrozmaitszych tradycyjnych gałęziach wiedzy. Związane z nią nowe sposoby podejścia do zagadnień pełnią w tradycyjnych naukach rolę pomocniczych środków metodologicznych i umożliwiają rozpatrzenie pewnych szczegółowych problemów z zupełnie nowego punktu widzenia. Ten właśnie metodologiczny aspekt cybernetyki jest chyba najbardziej brzemienny w skutki, gdyż służy nie tylko zmianie i ulepszaniu naszego środowiska technicznego i społecznego wskutek poznania naukowego, lecz przyczynia się też do ciągłego doskonalenia samej metodyki naszych działań poznawczych, umożliwiających przecież realizację owych zmian.

Kolejnym terenem, na którym cybernetyka wywiera i nadal wywierać będzie decydujący wpływ, jest tech-

nika. Nowoczesna technika — to znaczy automatyzacja w coraz doskonalszej formie — nie może istnieć bez wprowadzenia specyficznych metod cybernetycznych. W związku z tym winniśmy traktować cybernetykę jako niezwykle ważny element przebiegającej współcześnie rewolucji naukowo-technicznej, która kształtować będzie oblicze techniki roku 2000.

Nowe rozwiązania techniczne, dla których punktem wyjścia stała się cybernetyka, wiążą się ściśle z określonymi skutkami natury społecznej. W miarę postępu automatyzacji i wraz z doskonaleniem jej form, równolegle z problemem maszyn występuje i problem człowieka. W warunkach budownictwa socjalistycznego i komunistycznego doprowadzi to do gruntownego przekształcenia charakteru ludzkiej pracy.

W następnych rozdziałach pragniemy zająć się niektórymi zagadnieniami, związanymi z metodologicznym, technicznym i socjologicznym aspektem rezultatów myśli cybernetycznej.

Nowe metody

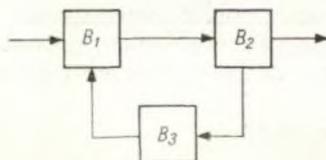
Cybernetyka nie stanowi tworu izolowanego, lecz jest produktem historycznego rozwoju nauki i techniki. Dlatego jej aparat pojęciowy nie jest absolutną nowością i był w tym lub innym sensie od dawna stosowany w najrozmaitszych dziedzinach. Podobnie ma się sprawa i z metodami tej nowej nauki. Nie zostały one przez cybernetykę „wynalezione"; ale niektóre z nich (np. metody „czarnej skrzynki", modeli i metoda prób i błędów) dzięki cybernetyce zostały rozwinięte i wyposażone w ścisły aparat matematyczny. Cybernetyka nadała im zupełnie nową postać i przekształciła w metody adekwatne do jej przedmiotu i sposobu myślenia.

„Czarna skrzynka"

Przypomnijmy sobie pojęcie funkcji przejścia. Dostarcza ona pewnych danych o tym, jak określone wej-

ścia układu wpływają na jego wyjście. Charakterystyka funkcji przejścia zależy od natury samego wejścia i oczywiście od stanu wewnętrznego układu, od jego struktury. W naszych rozważaniach na temat funkcji przejścia nie zajmowaliśmy się jednak bliżej tymi sprawami, ponieważ nie interesowało nas zupełnie, jak ona powstaje i gdzie tkwią przyczyny takiego lub innego jej ukształtowania. Obchodziły nas wyłącznie jej istnienie i wygląd. Wystarczało nam więc tylko ustalić, w jaki sposób układ „odpowiada" na wejście, tj. jakie jest wyjście w zależności od danego wejścia. Postępowanie, zmierzające do określenia funkcji przejścia układu, ma niezwykle ogólny charakter. Układy, jakie mamy zbadać bądź też jakie dane są nam w jakimkolwiek innym celu, a których struktura nie jest w ogóle znana lub co najwyżej znana częściowo, cybernetyka nazywa **czarnymi skrzynkami**.

Cybernetycy ujmują problem takich „czarnych skrzynek" dwojako. Przede wszystkim przy rozpatrywaniu pewnych zagadnień można abstrahować od spraw struktury. Cybernetyka interesują wówczas tylko stosunki między wejściem i wyjściem układu. Tak właśnie się dzieje w przypadku analizy funkcji przejścia. Znamy inne liczne przykłady tego rodzaju, co prawda nie związane w ogóle z metodami badawczymi cybernetyki, ale za to dobrze znane z życia codziennego. Każdy z nas używa przecież zegarka lub budzika i potrafi sobie z nim zupełnie dobrze radzić, z reguły niczego prawie nie wiedząc o funkcjonowaniu ich wewnętrznego mechanizmu. Podobnie potrafimy w oparciu o instrukcję fabryczną „prawidłowo" nastawić nasz tele-



Ryc. 17. Schemat blokowy. B_1, B_2, B_3 są „czarnymi skrzynkami"

wizor, chociaż i w tym wypadku najczęściej nie mamy żadnego pojęcia o skomplikowanych procesach elektrycznych zachodzących w takich aparatach oraz nie znamy ich budowy wewnętrznej. Ujmując sprawę cybernetycznie wiemy tylko o niektórych związkach między wejściem i wyjściem: przy pokręceniu jednej z gałek zmienia się kontrastowość obrazu, przy pokręceniu innej jego jasność itd.

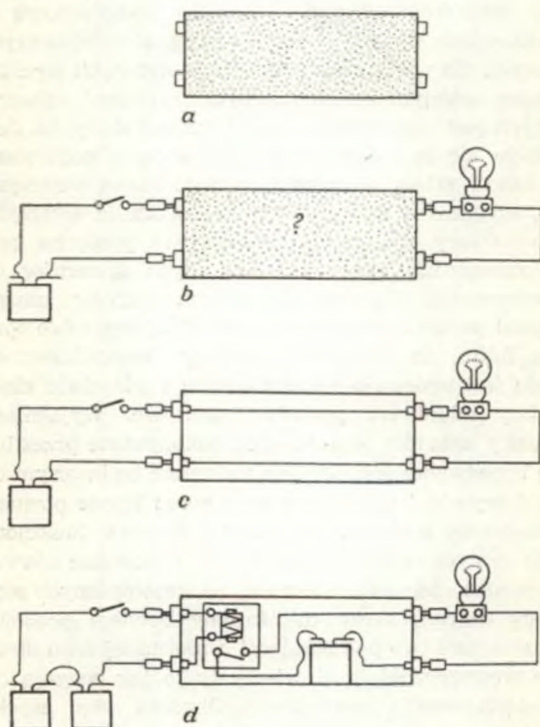
Jeśli układy o nieznanej strukturze wewnętrznej są podukładami większych systemów, wówczas tego rodzaju instrukcje obsługi — często kompleksowe — przedstawiane bywają w formie schematów blokowych, typowych dla wielu rozważań cybernetycznych (ryc. 17).

Innym ważnym celem pewnych rozważań cybernetycznych jest poznanie struktury czarnej skrzynki. Jeśli zgodzimy się że funkcja wyjścia, i w ogóle zachowanie się układu zależy w istocie od jego stanu wewnętrznego, wówczas w miarę dokładna znajomość wewnętrznej struktury układu jest niezwykle pomocna przy eksploatacji lub tworzeniu sztucznych systemów cybernetycznych. Ta właśnie strona metody czarnej skrzynki posiada istotne znaczenie. Zdajemy sobie sprawę z faktu, że poznanie struktury skomplikowanego układu jest przeważnie niecałkowite i właściwie ciągle jesteśmy zdani na prawdy cząstkowe. Wyjaśnianie struktury układów organicznych dokonywane przez biologię i medycynę jest ciągłym zadaniem badawczym dla tych dyscyplin i umożliwia nam coraz lepsze poznanie wewnętrznej budowy, struktury i sposobu funkcjonowania żywych organizmów. W tym kontekście ujawnia się również znaczenie pierwszej ze wspomnianych stron metody czarnej skrzynki. Możemy bowiem pracować nad układami lub podukładami o nieznanej nam strukturze wewnętrznej, jeśli wiemy tylko jak reagują one na oddziaływania zewnętrzne. Obydwa więc aspekty metody czarnej skrzynki posiadają swe uzasadnienie i uzupełniają się wzajemnie.

Spróbujmy na pewnym prostym przykładzie zaznajomić się z grubsza z przebiegiem analizy czarnej skrzynki, to znaczy przypatrzmy się, jak „rozjaśnia" się

stopniowo czarną skrzynkę, czyli jak można odsłonić jej strukturę wewnętrzną.

Wyobraźmy sobie zamkniętą czarną skrzynię o nie znanej nam strukturze wewnętrznej. Na obu przeciwległych bokach ma ona dwa elektryczne gniazdka wtyczkowe (ryc. 18a). Możemy więc przyjąć, że w jej wnętrzu znajduje się jakiś układ elektryczny. W celu ustalenia stosunku wejście—wyjście (przypuszczamy, że pomoże nam to ujawnić strukturę wewnętrzną), użyje-



Ryc. 18. Analiza „czarnej skrzynki": a) czarna skrzynka o nieznanym wewnętrznym układzie elektrycznym, b) ustanowienie relacji wejście—wyjście, c) pierwsza hipoteza o strukturze układu, d) druga hipoteza o strukturze układu

my zatem typowych elementów elektrotechnicznych. Z jednej strony podłączamy żarówkę, z drugiej zaś baterię akumulatorów i wyłącznik (ryc. 18b). Analizę czarnej skrzynki rozpoczynamy od zamknięcia wyłącznika. Spostrzegamy, że żarówka zapala się. Otwieramy ponownie wyłącznik i żarówka gaśnie. W tej chwili możemy sądzić, że obydwa przeciwległe gniazdka wtyczkowe połączone są ze sobą prostymi przewodami (ryc. 18c). Gdyby na przykład owa czarna skrzynka miała służyć jedynie połączeniu ze źródłem prądu, wówczas ta pierwsza hipoteza odnośnie wewnętrznego układu skrzynki okazałaby się zupełnie wystarczająca.

Nie zadowalamy się jednak tym prostym rozwiązaniem, lecz zakładamy, że struktura wewnętrzna nosi bardziej skomplikowany charakter i wobec tego przeprowadzamy jeszcze jeden eksperyment, w którym zmieniamy nieco formę wejścia. Bierzemy dwie zamiast jednej baterii akumulatorów i podłączamy je szeregowo. W ten sposób możemy wytwarzać dwukrotnie wyższe napięcie. Jeśli nasza poprzednia hipoteza o wewnętrznej strukturze czarnej skrzynki jest słuszna, to obecnie, przy zamknięciu wyłącznika, żarówka powinna rozbłysnąć jaśniejszym światłem albo nawet przepalić się. Ku naszemu zdumieniu rzeczywisty efekt jest jednak zupełnie inny — żarówka świeci tak samo jak poprzednio. A więc nasza pierwsza hipoteza zostaje obalona lub ściślej mówiąc, uznajemy ją za słuszną tylko częściowo. Wiemy, że gniazdka wtyczkowe połączone są ze sobą w jakiś sposób, ale nie za pomocą prosto biegnących przewodów.

Drugą hipotezę o wewnętrznej strukturze układu przedstawia schemat ukazany na ryc. 18d. Mamy tu do czynienia jednocześnie z dwoma obwodami prądu, połączonymi przekaźnikiem. Jeden z obwodów zasilany jest baterią akumulatorów umieszczoną wewnątrz skrzynki. Przekaźnik połączony jest tak, że zamyka obwód żarówki wtedy, kiedy i zewnętrzny obwód elektryczny zostanie zamknięty. W ten sposób żarówka zasilana jest prądem z baterii wewnętrznej i jej świecenie nie zależy od napięcia obwodu zewnętrznego. Zwią-

zek pomiędzy zamykaniem i otwieraniem wyłącznika oraz zapalaniem się i gaśnięciem żarówki jest więc identyczny, jak w przypadku pierwszej hipotezy. Dlatego możemy mówić o ekwiwalencji, to znaczy równoważności obydwu suponowanych układów. Nietrudno wykazać, że oprócz naszych wariantów istnieje jeszcze nieskończenie wiele podobnych, równoważnych im struktur, które prowadzą do identycznych rezultatów.

Z filozoficznego punktu widzenia, przejście od pierwszej hipotezy o wewnętrznej budowie czarnej skrzynki do drugiej, oznacza wzniesienie się naszej wiedzy w tym zakresie z niższego poziomu prawdy względnej na wyższy. Prawda niższego rzędu zawiera się przy tym w prawdzie rzędu wyższego. Pierwsza hipoteza bowiem jest w pełni słuszna pod warunkiem, że napięcie zewnętrzne nie będzie ulegać zmianom. Dopiero gdy to się zdarzy, ujawniają się efekty, których nasza przyjęta hipoteza nie tłumaczy. Tego rodzaju przejścia od prawd względnych niższego stopnia do prawd względnych wyższych stopni, gdzie owe prawdy względne niższego stopnia zawarte są jako jeden z momentów, stanowią charakterystyczne znamię całości ludzkiego procesu poznania przyrody i społeczeństwa. Dzięki cybernetycznej metodzie czarnej skrzynki powyższa teza materializmu dialektycznego, w odniesieniu do analizy układów kompleksowych, znajduje swe dobitne potwierdzenie, a zarazem i dokładniejsze wyjaśnienie.

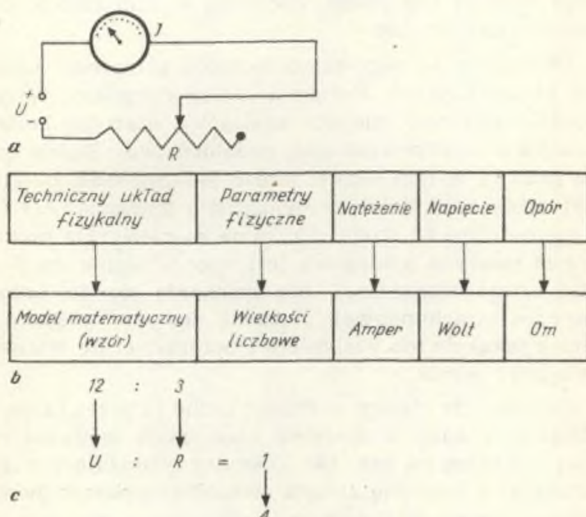
Czyżby naukowe igraszki?

Cybernetyka posługuje się też inną ważną metodą — tak zwaną metodą modeli lub cybernetycznego modelowania, jak się ją często nazywa. Nazwa ta pojawia się coraz częściej w prasie, radiu i publikacjach popularnonaukowych przy okazji tematów takich jak elektroniczne modele ludzkiego mózgu, matematyczne modele procesów fizycznych, techniczne modele bilansu gospodarki narodowej itd.

Metoda modeli jest metodą nową, którą winniśmy poznać, jeśli pragniemy zrozumieć i sprostać wymogom

gospodarki i techniki dnia jutrzejszego. Perspektywy jej zastosowania są olbrzymie i trudne jeszcze dziś do oszacowania, natomiast podstawowe założenia — niezwykle proste.

Z pojęciem modelu zaznajomi nas przede wszystkim pewien elementarny przykład. Rozpatrzmy zupełnie prosty obwód elektryczny o oporze *R*, w którym płynie prąd stały o napięciu *U* i natężeniu *I* (ryc. 19a). Przyj-



Ryc. 19. a) obwód elektryczny z regulowanym napięciem *U*, b) relacje między układem i modelem, c) obwód elektryczny jako „maszyna licząca"

mujemy, że napięcie źródła zasilania *U*, mierzone w woltach, ulega zmianom pod wpływem jakiegoś urządzenia (na naszym rysunku niewidocznego). Również opór *R* może się zmieniać w określonych granicach (dlatego nasz schemat przedstawia umownie opornik suwakowy). Ponadto w obwód włączamy amperomierz dla pomiaru natężenia prądu — *I*. Jeśli w obwodzie płynie prąd o regulowanym napięciu np. 10 V, a opornik suwakowy ustawiliśmy na 5 omów, to —

zgodnie z prawem Ohma $\left(I = \frac{U}{R}\right)$ — amperomierz musi pokazać natężenie równe dwóm amperom. Powyższe obliczenie będzie słuszne tylko wtedy, gdy posłużymy się odpowiadającymi sobie nawzajem jednostkami miary. Mieliśmy tu do czynienia z bardzo prostym przypadkiem. Wzór $I = \frac{U}{R}$ stanowi model matematyczny tego procesu fizycznego. Zachodzą w nim relacje pokazane na ryc. 19b.

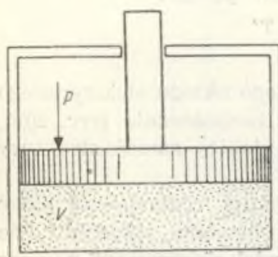
Odwrotnie — sam układ techniczny możemy uznać za model fizyczny równania matematycznego. W ten sposób uzyskamy niejako analogową maszynę liczącą (analogia — odpowiedniość, podobieństwo). Będzie ona co prawda w tym sensie bardzo jednostronna, bo służyć może nam tylko do mnożenia i dzielenia. Ale też i zastosowane tu środki fizykalne są niezwykle proste. Nasza maszyna analogowa jest więc w stanie, na drodze czysto technicznej, bez uciekania się do żadnej czynności rachunkowej, podzielić dowolną wielkość a przez jakąkolwiek wielkość b i automatycznie wskazać właściwy wynik.

Załóżmy, że chcemy podzielić liczbę 12 przez liczbę 3. Zgodnie z naszym modelem obowiązują wówczas relacje ukazane na ryc. 19c. Operator obsługujący naszą analogową maszynę liczącą musiałby wykonać następujące czynności: nastawić regulowane napięcie U na 12, manipulować opornikiem suwakowym, aż wykaże on opór równy 3 jednostkom miary i następnie odczytać na skali amperomierza natężenie prądu I. Okaże się ono równe 4. Zastąpiliśmy więc liczenie, i to liczenie schematyczne, przez użycie przyrządów fizycznych i odczyt wyników pomiaru procesów fizykalnych.

Nasz układ techniczno-fizykalny i jego model matematyczny były bardzo proste. Gdy w grę wchodzą nie tylko trzy wielkości U, R i I, lecz znacznie więcej, gdy mamy do czynienia nie tylko z tak prostym układem matematycznym jak prawo Ohma, lecz ze skomplikowanymi równaniami (na przykład z tak zwanymi rów-

naniami różniczkowymi), wówczas transformacja wielkości matematycznych na fizyczno-techniczne lub odwrotnie, przynosi wielką oszczędność w czasie i nakładach pracy ludzkiej, daje możliwość zastąpienia pracy wysoko wykwalifikowanego matematyka pracą technika-operatora. Stosując takie analogowe maszyny liczące w praktyce, można dziś wykonać w ciągu kilku godzin prace obliczeniowe, które uprzednio wymagały zatrudnienia przez długie miesiące dziesiątków matematyków.

Pojęcie modelu ma jednak znacznie szersze konsekwencje. Pozwala nam bowiem dotychczasowe wyniki



Układ elektryczny	Prawo Ohma	Natężenie prądu	Napięcie	Opór
Układ gazowy	Ogólne równanie stanu gazu	Ciśnienie gazu	Objętość gazu	Temperatura w °K

b

Ryc. 20. a) układ gazodynamiczny, b) relacje między układem elektrycznym i gazowym

zastosować do każdego układu, odznaczającego się taką samą strukturą matematyczną. Jak to należy rozumieć, wyjaśnimy znów na przykładzie. Załóżmy, że w cylindrze znajduje się gaz, który można sprężyć przy pomocy tłoka (ryc. 20a). Pomiędzy ciśnieniem gazu p, jego objętością V i temperaturą T (w skali Kelvina) zachodzi wówczas dla charakterystycznej ilości (zwa-

nej molem), tzw. gazu doskonałego, relacja matematyczna:

$$p \cdot V = R \cdot T$$

gdzie R jest wielkością stałą, zwaną stałą gazową.

Cybernetyk stwierdzi więc, że ten układ techniczny posiada taką samą strukturę matematyczną, jak układ przedstawiony w naszym pierwszym przykładzie. Aby to lepiej zrozumieć, dokonajmy przekształcenia „modelu matematycznego". Ponieważ R jest wielkością stałą, możemy ją wyeliminować wprowadzając odpowiednie nowe jednostki miary dla T. Model matematyczny (fizyk nazywa go ogólnym równaniem stanu gazów doskonałych) przybierze wówczas postać:

$$p \cdot V = T'$$

gdzie: $T' = R \cdot T$

Porównanie wzoru dla prostego układu elektrycznego z wzorem dla gazów ukazuje bezpośrednio (ryc. 20b), co rozumiemy pod pojęciem takiej samej struktury matematycznej.

Teraz możemy jeszcze bardziej rozbudować nasze pojęcie modelu. Moglibyśmy bowiem stwierdzić, że układ elektryczny stanowi „model elektryczny" naszego układu gazowego. Obowiązuje oczywiście także teza odwrotna: układ gazowy jest „modelem gazodynamicznym" naszego układu elektrycznego. Fakt ten posiada niezwykłe znaczenie naukowe i praktyczne. Możemy bowiem przeprowadzać na naszych analogowych maszynach liczących obliczenia dotyczące układu gazowego. Wystarczy tylko opracować zasady przekładu wielkości I, U, R na wielkości p, T, V. Ale na tym nie koniec! Możemy zastąpić doświadczenia nad układem gazowym doświadczeniami nad układem elektrycznym. Z technicznego punktu widzenia jest to bardzo istotne. Na przykład przebiegi elektryczne dadzą się łatwiej opanować aniżeli procesy gazowe. Zdarza się również, że dysponujemy odpowiednią aparaturą niezbędną do przeprowadzenia odpowiednich doświadczeń w dziedzinie elektryczności, podczas gdy przyrządy do badań w zakresie techniki gazowej muszą być dopiero zbudowane. Często też sfera zjawisk, które mamy prze-

badać, jest z pewnych względów niedostępna. Wówczas możemy naśladować procesy zachodzące w owym niedostępnym zakresie na modelu z innej, dostępnej dziedziny zjawisk. Ze względu na elementarne zasady humanitaryzmu nie sposób, na przykład, dokonywać w celach eksperymentalnych zabiegów chirurgicznych na mózgu człowieka. Dzisiaj wiemy już jednak, że podstawowe elementy składowe mózgu — neurony — pod wieloma względami zachowują się tak, jak zasadnicze elementy elektronicznej techniki obliczeniowej — tranzystory. Udało się też stwierdzić, że struktura matematyczna połączeń neuronowych, składających się na całość sieci nerwowej ludzkiego mózgu przypomina niekiedy połączenia określonych układów tranzystorowych lub lampowych, stosowanych przez nas w elektronicznych maszynach liczących. Owe układy biologiczno-medyczne względnie elektroniczne oraz ich modele matematyczne (układy połączeń) są — rzecz jasna — o wiele bardziej skomplikowane aniżeli nasz przykład. Ale przedstawione tu podstawowe zależności obowiązują w obydwu przypadkach. Dlatego możemy teraz stwierdzić, że eksperymenty nad strukturami mózgu dadzą się w określonym zakresie zastąpić przez doświadczenia przeprowadzane na elektronicznych układach połączeń, przede wszystkim zaś na niektórych elektronicznych maszynach liczących.

W naszych czasach wiele mówi się o planowaniu i kierowaniu gospodarką narodową. Sposób, w jaki oddziaływają na siebie wzajemnie poszczególne jej gałęzie, stanowi skomplikowany układ powiązań. Stosując tzw. rachunek macierzowy można opracować model matematyczny tych wzajemnych oddziaływań. Model ten z kolei może być sam zmodelowany za pomocą układów elektronicznych, charakteryzujących się tą samą strukturą matematyczną.

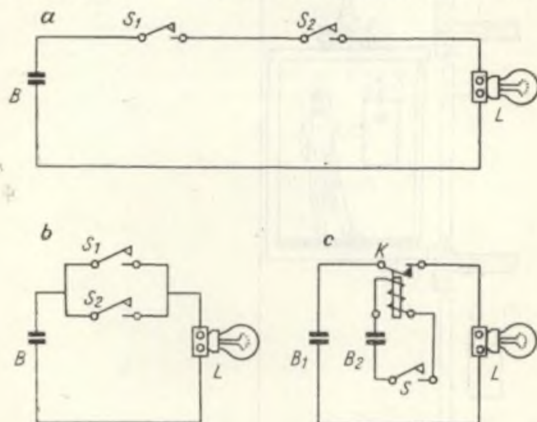
Także w dziedzinie gospodarki narodowej można w pewien sposób eksperymentować. Dokonując oceny skutków reformy cen artykułów przemysłowych nie postępujemy przecież tak, że ustalamy ceny na chybił trafił i obserwujemy, co z tego wyniknie, lecz rachujemy.

Przeprowadzamy doświadczenia na techniczno-fizycznym modelu naszej ekonomiki, a wraz z postępem odpowiednich badań naukowych w zakresie ekonomii politycznej, elektronicznej techniki obliczeniowej itd. prace te w przyszłości będą się jeszcze nasilać. Dzięki temu znajdujemy najdogodniejsze rozwiązania zawiłych problemów gospodarczych.

Interesujące i szczególnie ważne dla nowoczesnej automatyzacji jest to, że można nie tylko modelować relacje matematyczne w postaci stałych związków funkcjonalnych, lecz budować również modele techniczne związków logicznych. Ma to niezwykle istotne znaczenie, gdyż w ramach niektórych zagadnień chodzi nie tylko o to, aby wiedzieć jak i w jaki sposób zmienia się pewna wielkość (np. napięcie prądu), lecz o stwierdzenie, czy w trakcie przekształceń zachodzi jakiś nowy fakt, jakieś uwarunkowanie, czy też nie. Czytelnik zapoznał się już z bardzo prostym przykładem zależności określonego działania od istnienia tego rodzaju warunku logicznego, w związku z naszymi rozważaniami o algorytmiczno-teoretycznym aspekcie cybernetyki. Oczywiście, spotykamy się często z o wiele bardziej skomplikowanymi związkami logicznymi. Ta lub inna czynność, względnie sytuacja, może zależeć od dwóch, a nawet wielu warunków jednocześnie, przy czym konkretne zdarzenie wiązać się może z jedną lub wieloma kombinacjami spełnienia i niespełnienia poszczególnych warunków.

Spróbujemy więc przedstawić w sposób możliwie najprostszy zasady fizyczno-technicznego modelowania dla wariantu istnienia dwóch warunków. Postawmy sobie zadanie, aby żarówka zapalała się jedynie wówczas (równie dobrze przykład mógłby dotyczyć rozruchu silnika lub czegoś analogicznego), gdy zaistnieją dwa fakty — S_1 i S_2. Gdy zajdzie tylko jeden z nich, nie powinna się zapalić. Rycina 21a przedstawia układ elektrycznych połączeń, imitujący ten związek logiczny. W obwodzie zasilanym przez ogniwo — B, żarówka — L zapala się tylko wtedy, gdy zamknięte są wyłączniki S_1 i S_2. Ten układ elektryczny — większości

czytelników znany jako połączenie szeregowe — jest odpowiednikiem logicznej spójki „i", ponieważ L zapala się wtedy, kiedy obydwa wyłączniki — S_1 i S_2, są zamknięte. Rysunek 21b przedstawia schemat modelu technicznego spójki logicznej„**lub**": L zapala się, gdy wyłącznik S_1 lub S_2 jest zamknięty. Rysunek 21c ukazuje wreszcie elektrotechniczny model tak zwanej „negacji logicznej" — żarówka zapala się tylko wtedy,



Ryc. 21. Związki logiczne (tzw. stałe logiczne): a) „i" — koniunkcja, b) „lub" — alternatywa, c) „nie" — negacja

gdy wyłącznik S nie jest zamknięty, a więc pozostaje otwarty. Gaśnie natomiast z chwilą jego zamknięcia. Związek ten zrealizowano przez włączenie w obwód przekaźnika z zestykiem K: zawsze, gdy S jest zamknięty, otwiera się K i odwrotnie.

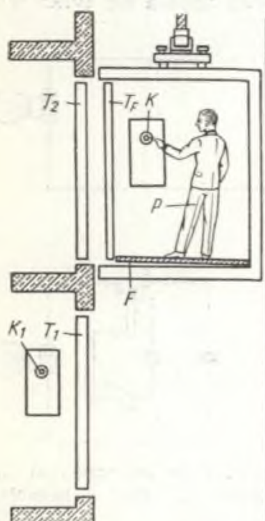
Za drugi przykład niech posłuży nam projektowanie systemu sterowania windą. Gwoli prostoty przyjmiemy, że winda ma połączyć ze sobą tylko dwie kondygnacje (ryc. 22). Poza tym interesować nas będą wyłącznie te zdarzenia, które zachodzą w czasie ruchu windy na dół. Oczywiście, możliwe są dwie sytuacje. Jeśli użyjemy symboli podanych na ryc. 22 dla odpowiednich warunków albo zdań logicznych, można te ostatnie przedstawić w sposób następujący ($\sim P$ oraz

$\sim T_F$ oznaczają odpowiednio „logiczną negację" P względnie T_F):

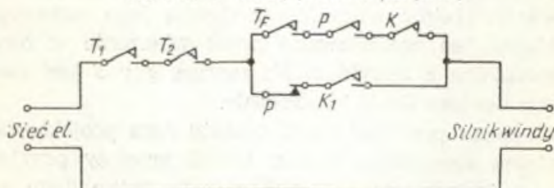
$$T_1 \text{ i } T_2 \text{ i } T_F \text{ i } P \text{ i } K \tag{1}$$

$$T_1 \text{ i } T_2 \text{ i } \sim P \text{ i } (T_F \text{ lub } \sim T_F) \text{ i } K_1 \tag{2}$$

Ponieważ wyrażenia (1) i (2) w jednakowej mierze odzwierciedlają ruch kabiny na dół, można je połączyć



Sterowanie windą (schemat połączeń)



Ryc. 22. Sterowanie windą (uwarunkowania logiczne): T_1 — drzwi do szybu na pierwszym piętrze są zamknięte, T_2 — drzwi do szybu na drugim piętrze są zamknięte, T_F — drzwi kabiny są zamknięte, P — w kabinie znajdują się ludzie, przełącznik podłogowy jest czynny, K — w kabinie naciśnięto na guzik „w dół", K_1 — naciśnięto na pierwszym piętrze na guzik „przywołanie"

w jedno. Jeśli dla dalszego skrócenia zapisu wprowadzimy znak $\wedge$ zamiast „i" oraz znak $\vee$ zamiast „lub", otrzymamy dla ruchu kabiny na dół poniższą relację:

$$[T_1 \wedge T_2 \wedge T_F \wedge P \wedge K] \vee [T_1 \wedge T_2 \wedge \sim P \wedge (T_F \vee \sim T_F) \wedge K_1]$$

Pragniemy tu przy okazji zdradzić Czytelnikowi, że zapoznał się on jednocześnie z pewnymi „zgłoskami" „języka" współczesnej logiki matematycznej. Zgodnie z uzasadnionymi regułami tej nauki można nasze ostatnie wyrażenie sprowadzić do następującej równoznacznej, ale prostszej formy:

$$[T_1 \wedge T_2] \wedge [(T_F \wedge P \wedge K) \vee (\sim P \wedge K_1)]$$

Jeśli ukazane możliwości wykorzystamy teraz dla elektrotechnicznego modelowania odpowiednich powiązań logicznych, uda nam się powyższe „wyrażenie logiczne" zrealizować poprzez schemat połączeń, przedstawiony na ryc. 22. Element modelujący negację logiczną zaznaczony został tylko przez umieszczenie w schemacie samego zestyku przekaźnika (na ryc. 21c oznaczony on jest przez K). Na podstawie tego schematu połączeń łatwo się przekonać, że dopływ prądu do silnika windy ma miejsce jedynie wtedy, gdy zestyki, odpowiadające poszczególnym warunkom, czynne są zgodnie z założonymi dla ruchu kabiny na dół powiązaniami tych warunków.

Zastanawiając się nad cybernetyczną metodą modeli lub modelowaniem cybernetycznym musimy pamiętać także i o innej sprawie, a mianowicie o bardziej specyficznych zastosowaniach naszkicowanych przez nas zasad ogólnych. Chodzi o budowę i studiowanie zachowania się tak zwanych „zwierząt cybernetycznych". Ponieważ rzecz tę można potraktować jako szczególny przypadek przedstawionych już uprzednio podstawowych idei ogólnych, zajmiemy się nią jedynie marginesowo.

Do pierwszych powszechnie znanych „zwierząt cybernetycznych" należą „żółwie", stworzone przez Anglika Grey Waltera. Jeden z tych modeli ochrzcił on imieniem Elsie. Elsie jest małym wózkiem na kółeczkach, napędzanym przez dwa nieduże silniczki elektryczne. Jeden z silniczków obraca koła, wprowadzając

tym samym żółwia w ruch. Drugi napędza urządzenie sterujące. Na owym małym wózku poza źródłami energii, szeregiem przekaźników i innych elementów elektronicznych znajdują się fotoelementy, „czujniki", które przy zetknięciu się żółwia z przeszkodą zamykają obwód elektryczny. W ciemności lub przy słabym oświetleniu Elsie wykonuje przypadkowe ruchy, jak gdyby czegoś szukała. Jeśli napotyka przeszkodę, odchodzi od niej i stara się ją obejść. Z chwilą pojawienia się wystarczająco silnego źródła światła Elsie szybko je „zauważa" i kieruje się wprost ku niemu. Takie zachowanie w przypadku układów biologicznych nazywa się fototropizmem dodatnim. Gdy jednak Elsie znajduje się zbyt blisko światła, odwraca się od niego (fototropizm ujemny). Porusza się wówczas dookoła źródła światła, póki nie wyszuka dla siebie warunków optymalnych, które następnie stara się ciągle utrzymać (patrz ryc. 23).



Ryc. 23. Dwie minuty z „życia" żółwia Elsie (1). W pewnej odległości ustawiono świecę (2). Między świecą a żółwiem znajduje się przeszkoda (3). Z pozycji wyjściowej (4) żółw zaczyna się poruszać w kierunku źródła światła (2). Następuje zetknięcie się (5) z przeszkodą. Żółw obchodzi (6) przeszkodę i ponownie kieruje się ku światłu. Przypadkowo podchodzi za blisko świecy (7), światło okazuje się za silne. Żółw musi się odsunąć (8) i okrąża świecę

Dopuszczając do „spotkania" dwóch tego rodzaju „żółwi" można ponadto zaobserwować i inne ciekawe zjawiska. Żółwie „widzą" siebie nawzajem i „rozpoznają" oraz suną ku sobie. Taka zabawka cybernety-

czna nie dostarcza wyłącznie przyjemnej rozrywki, lecz przede wszystkim jest niezwykle pouczająca. Imitowanie przy pomocy prostych zasad technicznych pewnego elementarnego zachowania się zwierząt może doprowadzić do ważnych wniosków odnośnie analogicznego mechanizmu działań u określonych układów organicznych. Ponadto doświadczenia z takimi zwierzętami cybernetycznymi mogą dostarczyć też podstawowych przesłanek dla budowy współczesnych i wielostronnych automatów.

Dokonywanie prób i uczenie się

Jeśli w zupełnie ciemnym pokoju jakiś przedmiot upadnie na podłogę, odnajdujemy go na ogół łatwo, zwłaszcza jeśli istnieje możliwość zapalenia światła, lub też po odgłosie uderzenia o posadzkę zorientowaliśmy się o jego przypuszczalnym położeniu. W takich okolicznościach możemy przeprowadzić poszukiwania systematyczne. Natomiast w razie braku jakichkolwiek danych o dokładnym lub co najmniej przybliżonym usytuowaniu przedmiotu, nie pozostaje nam nic innego, jak przypadkowo (czyli dowolnie) szukać po omacku w rozmaitych miejscach, dopóki zguba się nie odnajdzie.

Tego rodzaju postępowanie cybernetyka określa jako m e t o d ę p r ó b i b ł ę d ó w. Posiada ona niezwykle ogólny charakter i bardzo często jest typowa dla pewnych aspektów zachowania się układów cybernetycznych.

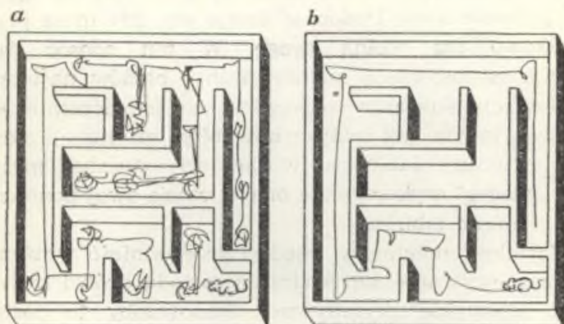
Takie działanie poprzez próby i błędy daje się na przykład zaobserwować w najrozmaitszych strukturach organicznych, np. u organizmów żywych. Na podstawie licznych doświadczeń z zakresu psychologii i fizjologii zwierząt wiemy, że szczury i myszy w zasadzie postępują w myśl tej metody, gdy zamyka się je w labiryncie. Labirynt jest układem różnie rozgałęzionych korytarzy, częściowo prowadzących z powrotem do punktu początkowego, i posiada zazwyczaj tylko jedną drogę do celu, np. do kawałka słoniny lub do wyjścia na zewnątrz. Głód doprowadza szczury i myszy

do tego, że biegają one po korytarzach tak długo, aż odnajdą słoninę lub wyjście z tej pułapki.

Jeśli parokrotnie powtórzyć te eksperymenty z tymi samymi zwierzętami i w tym samym labiryncie, zachodzi godne uwagi zjawisko. W trakcie następujących po sobie doświadczeń czas, potrzebny zwierzętom do znalezienia słoniny lub wyjścia, ulega zazwyczaj systematycznemu skróceniu. Można z tego wnosić, że mamy tu niejako do czynienia z procesem uczenia się, zachodzącym w mózgu zwierząt. Wyniki poszczególnych prób znalezienia właściwej drogi zostają zarejestrowane w mózgu szczurów i myszy w taki sposób, że pozytywne rezultaty są zapamiętywane i przez częściej powtarzane doświadczenia utrwalane, natomiast negatywne — odnotowywane jako prowadzące w ślepe uliczki — omijane. Spotykamy się tu z interesującym przykładem wzbogacania zasobu „doświadczeń" układu cybernetycznego przy użyciu metody prób i błędów.

Wspomniane doświadczenia nad szczurami i myszami przeprowadzano już w czasach, gdy o cybernetyce nie było jeszcze mowy. Dla nas ważny jest fakt, że zachowanie się szczurów i myszy w labiryncie daje się imitować, to znaczy naśladować technicznie, i w związku z tym modelować według zasad metody prób i błędów. Pierwszy układ tego rodzaju, „sztuczna mysz", jest dziełem amerykańskiego matematyka i jednego z twórców teorii informacji Claude Shannona. „Mysz" ta, nazwana przez swego konstruktora imieniem starożytnego bohatera greckiego — Tezeusz, posiada bardzo prostą strukturę. Kawałek stali długości paru centymetrów porusza się na kółkach. Wszystkie pozostałe elementy zewnętrzne — uszy, oczy i ogonek — to po prostu atrapy. Mysz łazi po kwadratowej płycie, podzielonej z kolei na 25 równych kwadratów. Ruch myszy jest wynikiem działania magnesu, znajdującego się pod płytą i kierowanego przez odpowiedni mechanizm sterujący. Mechanizm ten jest w pewnym sensie „mózgiem" myszy. Składa się z 50 przekaźników, podobnych do używanych w centralach telefonicznych, które — pomysłowo połączone — tworzą aparaturę liczącą i ste-

rującą małym silniczkiem, napędzającym mechanizm kierowniczy. Labirynt tworzy się przez dowolne ustawienie ścianek działowych na granicach kwadratów. W jednym z kwadratów znajduje się „słonina", reprezentowana przez wyłącznik. Zamyka się on natychmiast z chwilą dojścia „myszy" do celu (p. ryc. 24).



Ryc. 24. Droga myszy Tezeusz w labiryncie: a) pierwsza próba — mysz biega po labiryncie chaotycznie, b) druga próba — mysz natychmiast odnajduje najkrótszą drogę do celu

Zachowanie się „myszy" reguluje mechanizm działający na zasadzie prób i błędów. Początkowo pozwala on myszy poruszać się na chybił trafił. Gdy natknie się ona na ścianę, mechanizm doprowadza ją do zwrotu o 90° w prawo lub w lewo i do kontynuowania dalej swego biegu. Jeśli to się nie uda, czyli znowu na drodze napotka ona przeszkodę, ponownie nastąpi przypadkowy obrót o 90° na prawo lub lewo i podjęta zostanie kolejna próba dotarcia do celu. Trwa to tak długo, aż wreszcie „zadanie" zostanie wykonane. Tym sposobem mysz przechodzi z jednego kwadratu do drugiego, aby w końcu po dłuższym lub krótszym czasie dotrzeć do „słoniny". **Umieszczając po raz drugi** mysz w tym samym kwadracie wyjściowym, możemy zaobserwować jedyne w swoim rodzaju zjawisko: mysz podąży do „słoniny" bez żadnych obejść, najkrótszą drogą.

Jak to wytłumaczyć? Zrozumiałe, że nie możemy wnikać tu we wszystkie szczegóły konstrukcji shannonowskiego urządzenia. Sam jego mechanizm jest w zasadzie jednak zupełnie prosty. Każdorazowo, gdy mysz w trakcie swego pierwszego błądzenia po labiryncie zderza się ze ścianą, specjalny przyrząd sygnalizuje to pamięci mechanizmu, którą stanowi ów zestaw 50 przekaźników. Podobnie dzieje się, gdy mysz przypadkowo ma wolną drogę. W ten sposób jako wynik zastosowania metody prób i błędów następuje rejestracja sukcesów i porażek, co jednocześnie jest niczym innym, jak zmagazynowaniem informacji o części struktury labiryntu w pamięci sztucznej myszy. Tę „wiedzę" wykorzystuje ona w czasie swej ponownej drogi przez labirynt.

Czytelnik mógłby w międzyczasie odnieść wrażenie, że zachowywanie się zgodnie z metodą prób i błędów jest niezwykle prymitywne. Stanowiłoby to jednak tylko połowę prawdy. Stwierdzenie, że ludzie stosują metodę prób i błędów w jej „czystej" postaci jedynie w wyjątkowych okolicznościach jest oczywiście słuszne. Niemniej jednak w pewnym sensie posiada ona fundamentalne znaczenie, ponieważ na niej opierają się wszystkie wyższe formy zachowania się układów. I tak na przykład doświadczenie, jakim dysponujemy przy analizie czarnej skrzynki, ma postać „wewnętrznego modelu świata zewnętrznego". Jego powstanie i doskonalenie przebiega w ostatecznym rachunku stale na podstawie metody prób i błędów. Odpowiednio do sukcesów lub niepowodzeń naszych działań, model ten ulega ciągłym ulepszeniom. Ponieważ jednak nasza aktywność w zakresie oddziaływań na otoczenie nie opiera się bezpośrednio na metodzie prób i błędów, odbywa się to za pośrednictwem naszego wewnętrznego modelu rzeczywistości. Drogą odpowiednich „eksperymentów" na wewnętrznym modelu otoczenia, dokonujemy świadomie lub nieświadomie wyboru większości naszych działań, w danej sytuacji najdogodniejszych.

Dochodzimy do wniosku, że zachowanie się zgodnie z metodą prób i błędów oraz zachowanie celowe są ze sobą ściśle związane. Wszystkie układy, jakie znamy w świecie żywych organizmów, a które zachowują się w sposób celowy, rozwinęły się dzięki skuteczności metody prób i błędów. Z filozoficznego punktu widzenia mamy tu do czynienia ze szczególnym przejawem wzajemnej zależności przypadku i konieczności.

W ramach tych rozważań, noszących przecież elementarny i jedynie wprowadzający charakter, wnikanie w wielostronną problematykę, związaną z cybernetyczną metodą prób i błędów, zaprowadziłoby nas zbyt daleko, zwłaszcza ukazanie naprawdę bardzo ogólnego znaczenia i powszechnej skuteczności tej metody jest niemożliwe. Jej stosowanie ma bardzo szeroki zasięg — od najbardziej prymitywnych organizmów żywych począwszy, a na najwyższych formach twórczego myślenia człowieka skończywszy. W związku z tematyką następnych rozdziałów niniejszej książki należy jednak jeszcze podkreślić, że doświadczenia z myszą Shannona służą nie tylko ogólnemu zrozumieniu zachowania się zwierząt w labiryncie. Ich praktyczne zastosowanie w układach połączeń telefonicznych, które by automatycznie wybierały najkrótsze drogi łączeniowe przy możliwie najmniejszych nakładach, prowadziłoby do dużej oszczędności środków finansowych i przede wszystkim pozwoliłoby w pełni wykorzystać istniejącą sieć telefoniczną, to znaczy przeprowadzać jednocześnie maksymalną ilość rozmów. We wszystkich wielkich miastach olbrzymie obciążenie sieci telefonicznej stwarza obecnie liczne problemy, które niewątpliwie w najbliższej przyszłości jeszcze się zwielokrotnią wraz ze wzrostem ilości połączeń telekomunikacyjnych.

Konstrukcja Shannona ma oczywiście ponadto duże znaczenie i dla innych problemów postępu technicznego. Imitacja zachowania opartego na metodzie prób i błędów pozwala na konstruowanie nowych sytemów automatycznych, jakich dotąd prawie nie znaliśmy, a nawet nie uważaliśmy ich w ogóle za możliwe.

Współczesna automatyzacja

Ogólną tendencją rozwojową współczesnej techniki jest automatyzacja.

Cóż jednak znaczy „automatyzacja"? Wstępnie można by na to pytanie odpowiedzieć po prostu tak: „Automatyzacja to tworzenie i stosowanie automatów, czyli automatycznych urządzeń technicznych". Ale co to jest „automat"? Zwróćmy naszą uwagę przede wszystkim na przyrządy, które zazwyczaj nazywamy automatami: automaty do sprzedaży papierosów, automaty do przechowywania bagaży, automaty do napełniania butelek, obrabiarki automatyczne, automaty liczące itd. Wszystkie tego rodzaju urządzenia techniczne charakteryzują się pewnymi cechami, które odróżniają je od pozostałych: automat zastępuje zawsze określone czynności ludzkie. Stanowi on układ skonstruowany i wyprodukowany przez człowieka, ale nie wymagający jego stałej i bezpośredniej ingerencji. Automat działa samodzielnie co najmniej przez dłuższy czas i reaguje na „oddziaływania zewnętrzne" zgodnie z celem, dla którego został zbudowany. Automat do sprzedaży papierosów wyrzuca pudełko, jeśli wrzucimy odpowiednią monetę. Automat do napełniania butelek wlewa zawsze tę samą ilość płynu z chwilą przesunięcia się butelki na przewidziane miejsce. Automat liczący, po przekazaniu mu odpowiednich liczb oraz tzw. „programu", dostarcza wyników mniej lub bardziej złożonych obliczeń. I tak dalej. Należy przy tym zwrócić uwagę, że już na długo przed pojawieniem się cybernetyki zastępowanie fizycznych czynności człowieka przez urządzenia techniczne — maszyny — było rzeczą zwyczajną i w pełni realną. Obecnie jednak w coraz większym stopniu zastępuje się także pracę umysłową, zwłaszcza operacje myślowe o powtarzalnej strukturze, wykonywane „mechanicznie". Umożliwia to przede wszystkim technika cybernetyczna.

Następną właściwością urządzeń automatycznych jest to, że mogą one znaleźć zastosowanie w różnych sferach działalności ludzkiej — w produkcji, handlu,

w usługach lub w procesach zarządzania. Gdy słyszymy słowo „automatyzacja", kojarzy się nam ono najczęściej z automatyzacją produkcji materialnej, ale nie powinniśmy przy tym zapominać, że istnieje również zasadnicza możliwość, a także konieczność automatyzacji na licznych pozaprodukcyjnych terenach działań człowieka.

Musimy wspomnieć, że istnieją różne stopnie automatyzacji. Rozróżnia się je, na przykład, stosownie do skali, w jakiej wyeliminowane zostają czynności człowieka. Może się zdarzyć, że automatyzuje się niektóre fazy procesu produkcyjnego, podczas gdy pozostałe wymagać będą nadal bezpośredniego udziału ludzi. Odpowiednio do tego mówimy o urządzeniach częściowo zautomatyzowanych, półautomatycznych i o pełnej automatyzacji.

Inne możliwe kryteria klasyfikacji biorą pod uwagę stopień niezawodności systemu automatycznego oraz mniejszą lub większą uniwersalność jego zastosowań. Ogólny stan rozwoju sił wytwórczych, a zwłaszcza techniki warunkuje osiągnięcie kolejnych szczebli automatyzacji. Dlatego w istocie są one wyrazem historycznego rozwoju techniki. Wpływają jednak na nie również w znacznej mierze, jak i w ogóle na rozwój procesu automatyzacji, konkretne stosunki społeczne.

Podsumowując nasze rozważania na temat pojęcia automatu i automatyzacji, możemy sformułować następujące określenia: Automat jest sztucznym układem dynamicznym, funkcjonującym bez bezpośredniej ingerencji człowieka. Urządzenia takie mogą częściowo lub całkowicie uwolnić człowieka od pracy fizycznej i potrafią przejąć niektóre rodzaje jego czynności umysłowych. Automatyzacja jest procesem historyczno-społecznym, polegającym na wprowadzaniu tego rodzaju sztucznych układów do najrozmaitszych dziedzin życia społecznego, przede wszystkim jednak do różnych gałęzi gospodarki narodowej. Proces ten, trwający już od wielu dziesięcioleci, wkroczył obecnie w nowe, wyższe stadium, dzięki powstaniu cybernetyki.

Niekiedy współczesną automatyzację utożsamia się z zastosowaniem cybernetyki w technice. Pogląd ten nie jest słuszny, już choćby z tego względu, że automatyzacja nie sprowadza się do zagadnienia konstrukcji automatów, lecz włącza w siebie niezbędną dla budowy automatycznych agregatów różnorodną problematykę naukową i naukowo-techniczną z zakresu fizyki, chemii i innych nauk przyrodniczych. Oprócz prac teoretycznych i badań prowadzonych w eksperymentalnych gałęziach przyrodoznawstwa musi też istnieć na odpowiednim poziomie przemysłowa produkcja podzespołów oraz należy stale opracowywać nowe ich typy. Ponadto można tworzyć automaty również bez zastosowania podstawowych zasad cybernetyki, np. nie korzystając z zasady sprzężenia zwrotnego. Przyjrzyjmy się automatowi do sprzedaży papierosów, który za dwie 2-złotówki wyrzuca nam np. paczkę „Płaskich". Jest on tworem zupełnie mechanicznym, który działa tylko w oparciu o jeden jedyny z góry ustalony „program". Nie występują w nim żadne sprzężenia zwrotne. Oczywiście są one tu zupełnie zbędne. Dla zbudowania takiego automatu, mającego zastąpić określone czynności sprzedawcy, nie potrzeba wykorzystywać żadnych zasad cybernetycznych. Dlatego winniśmy odróżnić dwie główne formy automatyzacji, które proponujemy odpowiednio nazwać automatyzacją przedcybernetyczną lub niecybernetyczną oraz automatyzacją cybernetyczną.

W przedcybernetycznej fazie automatyzacji mamy do czynienia ze względnie sztywnymi układami, w których w zasadzie nie występują sprzężenia zwrotne lub inne specyficzne właściwości systemów cybernetycznych, z jakimi zapoznaliśmy się w niniejszej książce. Rzecz jasna, że obydwie wspomniane formy automatyzacji nie występują nigdzie w stanie „czystym". Również w ramach współczesnej automatyzacji i w automatycznych urządzeniach przyszłości będą one współistnieć co najmniej jeszcze przez dłuższy czas.

Poza tym z reguły w jednym i tym samym urządzeniu znajdują się obok siebie elementy cybernetyczne i niecybernetyczne. Z drugiej zaś strony poszczególne cechy cybernetycznej fazy automatyzacji pojawiają się już stosunkowo wcześnie w historycznym rozwoju techniki. I tak rosyjski mechanik Połzunow wynalazł w roku 1765 regulator do utrzymywania stałego poziomu wody w kotle maszyny parowej. Z dzisiejszego punktu widzenia jego funkcjonowanie opiera się na wykorzystaniu cybernetycznej zasady sprzężenia zwrotnego (ryc. 25). Pływak, połączony dźwigniami z zaworem



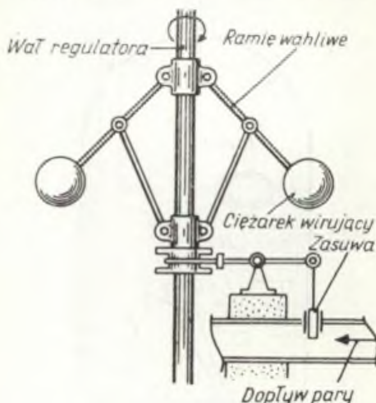
Ryc. 25. Pływakowy regulator poziomu wody Połzunowa

zamykającym, unoszony jest w górę przez wodę napływającą do wnętrza kotła tak długo, dopóki klapa zaworu nie zamknie rury dopływowej.

Jako dalszy przykład wymieńmy też regulator odśrodkowy, wynaleziony przez Jamesa Watta w roku 1785 i służący do regulacji prędkości obrotowej wału maszyny parowej. Regulacja taka jest niezbędna dla utrzymania stałej prędkości obrotowej, mimo zmiennego obciążenia maszyny. Także w tym wypadku wykorzystuje się zasadę sprzężenia zwrotnego. Dwa wahliwe ramiona, zakończone ciężarkami, zawieszone są na wale, tzw. wale regulatora, który poprzez odpowie-

dnie przekładnie połączony jest z wałem napędowym maszyny parowej. Jeśli prędkość obrotowa wału reduktora staje się zbyt duża, ciężarki w wyniku działania siły odśrodkowej unoszą się do góry i przemieszczają zasuwę, która zmniejsza dopływ pary. Gdy na odwrót — prędkość obrotowa zmniejsza się — ciężarki opadają i otwierają zasuwę.

Wspomniane wyżej wynalazki, jak i szereg podobnych urządzeń cybernetycznych dzieli bądź co bądź od współczesnej automatyzacji cała epoka badań w zakresie przyrodoznawstwa i rozwoju technicznego. Nie będziemy się tym jednak dokładniej zajmować. W za-



Ryc. 26. Odśrodkowy regulator Watta

mian pragniemy obecnie scharakteryzować bliżej obydwie wyróżnione przez nas podstawowe formy nowoczesnej automatyzacji. Przykładem niecybernetycznej automatyzacji jest dziś chociażby prosta automatyczna linia obrabiarkowa z przymusowym taktem produkcyjnym. Wyrób przechodzi tu w trakcie swego powstawania przez szereg maszyn, z których każda wyspecjalizowana jest w zakresie jednej lub najwyżej paru czynności obróbczych. Taka forma automatyzacji zastępuje niejako istniejący uprzednio podział pracy między robotnikami, podziałem pracy między poszczególnymi

maszynami, wykonującymi każda swój określony „takt roboczy".

Zrozumiałe, że tego rodzaju automatyzacja ma sens jedynie tam, gdzie w grę wchodzi produkcja masowa. Poszczególne wysoce wyspecjalizowane maszyny i agregaty są bowiem z reguły drogie i całość linii stanie się tylko wtedy rentowna, gdy można będzie na niej produkować jeden i ten sam przedmiot w bardzo dużych ilościach i to — jeśli się uda — całymi latami. Z tego powodu tworzenie na takiej bazie w pełni zautomatyzowanych zakładów rodzi specyficzne problemy, wynikające przede wszystkim stąd, że powstały system urządzeń jest ze swej natury sztywny, mało elastyczny. Obowiązuje tu w świecie maszyn automatycznych jak gdyby to samo, co znane jest już nam dość dobrze w procesach rozwoju przyrody ożywionej — im bardziej wyspecjalizowany organizm, tym mniejsze szanse jego przeżycia przy zmianie warunków środowiskowych. Jednostronna specjalizacja pociąga za sobą niedostateczną zdolność adaptacyjną do ewentualnych zmian otoczenia. Przekładając powyższe na sytuację w przemyśle można stwierdzić, że w pełni zautomatyzowane fabryki, składające się z zestawów agregatów, z których każdy wyspecjalizowany jest w zakresie ściśle określonego rodzaju produkcji, stają się bezwartościowe, gdy na przykład jakiekolwiek przyczyny ekonomiczne lub pozaekonomiczne zmuszają do zasadniczej zmiany profilu wytwarzania. Jeśliby zautomatyzować w taki sposób zakłady, produkujące np. odzież damską, zmiana panującej mody czyniłaby je w określonych okolicznościach zupełnie nieprzydatnymi. Dlatego omawianą metodę automatyzacji stosuje się tylko wtedy, gdy zbyt masowego produktu jest w pełni zagwarantowany i to w określonych stałych ilościach i czasie.

Niestety, wśród wielu ludzi panuje jeszcze mniemanie, że jest to jedyny możliwy rodzaj automatyzacji i że wiąże się ona nierozdzielnie z produkcją masową, a tym samym z różnymi ujemnymi następstwami w zakresie profilowania produkcji. Zaliczyć należy też tu stwierdzenia, że masowa produkcja dóbr konsumpcyj-

nych oznacza zarazem „uniformizację” i „zgnębienie indywidualności”.

Możliwości, jakie stwarza cybernetyczna forma automatyzacji podważają tego rodzaju poglądy. Wskazywaliśmy już na to, że ona także posiada swoją historię i że elementy cybernetycznej automatyzacji już stosunkowo wcześnie pojawiły się w historii techniki. Niezależnie od tego z szerokim wykorzystywaniem zasad cybernetyki wiążą się jednak radykalne zmiany w samej istocie nowoczesnej automatyzacji. Podstawowym ich przejawem jest zdolność adaptacyjna zastosowanych agregatów. Dzięki temu powstaje tendencja do automatyzacji także tam, gdzie wytwarza się poszczególne podzespoły lub montuje wieloczęściowe wyroby w mniejszych seriach. Nie budzi żadnych wątpliwości, że dla serii 10 lub 100 urządzeń nie można budować automatycznej linii obrabiarkowej o charakterze niecybernetycznym, składającej się z 200 specjalistycznych maszyn i zestawów. Byłoby to w najwyższym stopniu nieopłacalne!

Dla celów automatyzacji cybernetycznej istnieją już niektóre typy organów wykonawczych, głównie w postaci takich maszyn jak uniwersalne tokarki, uniwersalne frezarki lub — na wyższym poziomie — obrabiarki ze sterowaniem programowym. Można tworzyć z nich zestawy i sterować nimi automatycznie przy użyciu central elektronicznych. W ten sposób automatyzacja zakładów, produkujących w krótkich seriach wiele typów wyrobów, staje się w pełni realna.

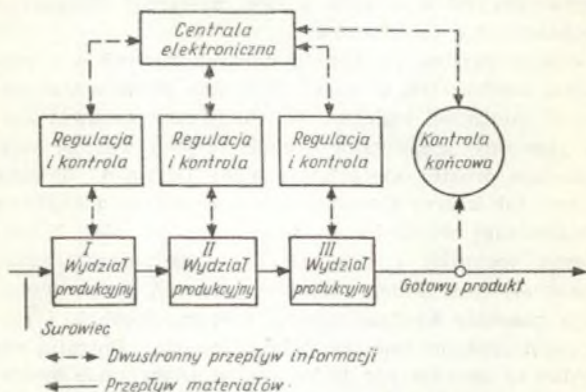
Spotkaliśmy się tutaj z kolejną ważną cechą cybernetycznej formy automatyzacji. W kompleksowym układzie technicznym obejmującym całą fabrykę, należy opanować nie tylko poznane przez nas uprzednio procesy regulacji stałowartościowej, programowej i nadążnej. Nieco bardziej skomplikowane ciągi technologiczne wymagają raczej ośrodków podejmujących decyzje i działania logiczne, które nie dają się zrealizować wyłącznie za pomocą wymienionych trzech rodzajów regulacji, stanowiących niejako klasyczne formy rozwiązań problemów regulacyjnych. Współcześ-

nie rolę taką pełni dyspozytor zakładu, a więc człowiek, którego zadanie polega na zgrywaniu toku pracy poszczególnych zautomatyzowanych działów, przy czym ich automatyzacja może mieć także charakter niecybernetyczny. Równocześnie dokonuje on optymalnych nastawień układów regulacyjnych oraz podejmuje szereg innych decyzji w oparciu o swe zazwyczaj wieloletnie doświadczenie praktyczne.

Wiemy już, na podstawie naszych rozważań o metodzie modeli, jak w zasadzie można technicznie imitować zależności logiczne. W istocie rzeczy nawet każdy dowolny stabilizator (regulator stałowartościowy) dokonuje prostej operacji logicznej. Działa on bowiem w tym lub innym kierunku w zależności od odchylenia regulowanej wielkości „w górę" lub „w dół". Nowoczesna technika i cybernetyka umożliwiają jednak konstruowanie takich układów połączeń, które wykonują znacznie bardziej skomplikowane operacje i realizują najróżnorodniejsze związki logiczne. Potrafią one wydawać decyzje nie tylko dorównujące podejmowanym przez doświadczonego dyspozytora, ale nawet je przewyższające pod względem dokładności, szybkości reakcji i niezawodności. Dzięki temu stworzone zostały realne przesłanki dla tak zwanej automatyzacji kompleksowej (ryc. 27). Ten szczebel rozwoju procesów automatyzacyjnych, będący w gruncie rzeczy dopiero sprawą najbliższej przyszłości, stanowi podstawowy teren zastosowań cybernetyki w dziedzinie nowoczesnej techniki.

Człowiek w białym kitlu roboczym, siedzący w centralnej dyspozytorni przy biurku w samym środku sali, gdzie na ścianach znajdują się setki wskaźników, dźwigni włączających, przycisków guzikowych i kolorowych lampek, pogrążonej w oślepiającym świetle wielkich żarówek i tonącej w ciszy, zakłócanej jedynie jednostajnym szumem aparatury i tykaniem wielkiego zwykłego zegara — nie to stanowi idealny obraz cybernetycznej automatyzacji! Urządzenia takie są co prawda powodem naszej słusznej dumy, gdyż reprezentują obecnie najwyższą formę automatyzacji niecy-

bernetycznej lub częściowo cybernetycznej. Wraz z procesem jej kształtowania się i rozwoju centrale sterownicze wyposażane będą stopniowo w coraz mniejszą ilość wskaźników i przełączników. W pewnych gałęziach gospodarki narodowej cały inwentarz takiej nastawni sprowadzać się będzie, być może, do jednej



Ryc. 27. Zasada kompleksowej automatyzacji cybernetycznej

lampy, sygnalizującej zielonym światłem, że dany zakład pracuje normalnie, a czerwonym, że coś nie jest w porządku. Wszystko to stanie się jednak możliwe dopiero wówczas, gdy miejsce człowieka dyspozytora zajmie cybernetyczna centrala sterownicza o odpowiednio wysokim stopniu integracji.

Jeśli spojrzymy z tego punktu widzenia na historyczny rozwój techniki, możemy wyróżnić pięć typów „narzędzi", charakteryzujących kolejno poszczególne etapy jej ewolucji. Początkowo człowiek wytwarzał i posługiwał się prostymi narzędziami. Były to po prostu surowe albo odpowiednio obrobione kamienie lub kawałki drewna, którymi udawało się przekształcać jakieś przedmioty. W toku niezwykle długiego procesu rozwojowego narzędzia przybierały coraz bardziej skomplikowane formy. Na pewnym etapie uzyskały kształt mechanizmów, stanowiących niejako

szczebel przejściowy do istotnie nowego ich typu, mianowicie do maszyn. Rozwój techniki maszynowej dostarczył w gruncie rzeczy wszystkich ważniejszych nowości współczesnej techniki. Punktem szczytowym i zarazem przejściem do nowej fazy stała się konstrukcja systemów automatycznych. Zgodnie z naszymi dotychczasowymi stwierdzeniami, początek tej epoki stanowi budowa przedcybernetycznych układów automatycznych. Są one z kolei pośrednim ogniwem, prowadzącym do jeszcze wyższego etapu, którego podstawą staje się automat cybernetyczny.

Podobnie jak rozwój maszyn nie wyeliminował bynajmniej prostych narzędzi, tak i automaty cybernetyczne (niektórzy nazywają je też „cybernetami") nie wyrugują maszyn i narzędzi. Niemniej jednak automat cybernetyczny, zdolny do wielostronnej adaptacji i niezawodnie pracujący, pod pewnym względem przypominający swym sposobem zachowania się i możliwościami żywe układy organiczne, zajmuje centralne miejsce w technice nadchodzącego stulecia.

Niektórzy z Czytelników dziwią się, być może, dlaczego nie mówiliśmy dotąd w naszej książce o nowoczesnej maszynowej technice obliczeniowej, o zastosowaniu wielkich elektronicznych maszyn liczących itp. Tym bardziej że dość rozpowszechnione jest mniemanie, jakoby cybernetyka była czymś w rodzaju „teorii wielkich elektronicznych maszyn matematycznych". Nasze dotychczasowe wywody wykazały chyba jednak wyraźnie, że cybernetyka — jej sposoby podejścia, metody i tezy teoretyczne posiadają bardzo ogólny charakter i nie wolno ich w żadnym wypadku ograniczać do dziedziny układów elektronicznych. Pogląd o identyczności cybernetyki i teorii elektronicznych maszyn liczących zrodził się po prostu stąd, że w okresie narodzin cybernetyki w czterdziestych latach naszego stulecia istniały ścisłe powiązania między pierwszymi systemami cybernetycznymi (np. automatycznymi systemami obrony przeciwlotniczej) i nowoczesnymi wielkimi maszynami liczącymi. Należy przy tym jednak jasno zdawać sobie sprawę z tego, że ówczesne,

a w znacznej mierze też i dzisiejsze maszyny liczące nie są układami cybernetycznymi. Natomiast zgodzić się trzeba, że w przyszłości zasady cybernetyki odgrywać będą coraz większą rolę w dziedzinie maszynowej techniki obliczeniowej.

Wspominamy tu o maszynowej technice obliczeniowej i elektronicznych maszynach matematycznych dlatego, że układy elektroniczne tego typu użytkowane są nie tylko jako maszyny liczące, pozwalające fantastycznie szybko i pewnie rozwiązywać najtrudniejsze zadania obliczeniowe, lecz równie dobrze pełnią rolę central sterujących, „automatycznych dyspozytorów" cybernetycznie zautomatyzowanych i zintegrowanych zespołów urządzeń. W tym sensie „mózgi elektronowe" stanowią rdzeń wyższych form kompleksowej automatyzacji cybernetycznej.

Z naszych rozważań jasno wynika, że cybernetyczna forma automatyzacji stanowi wyższy szczebel jej rozwoju, do którego należeć będzie przyszłość. Formy niecybernetyczne natomiast pomocne są zwłaszcza przy wytwarzaniu względnie prostych wyrobów lub przy kontrolowaniu prostych i ciągłych procesów technologicznych, z jakimi na przykład mamy do czynienia w przemyśle chemicznym. Ich stosowanie ma jednak ograniczony zakres, a przede wszystkim układy te po upływie krótkiego czasu stają się nieekonomiczne. Oczywiście i tutaj, jak w wielu innych dziedzinach naszego rozwoju społecznego zmuszeni jesteśmy godzić się z faktem, że wszystkiego naraz nie możemy osiągnąć. Obydwie formy automatyzacji mają swój teren zastosowań i dlatego winny być niezależnie wykorzystywane. Zrozumiałe, że forma cybernetyczna może być wprowadzana stopniowo, gdyż wymaga olbrzymich nakładów materialnych oraz dodatkowych badań i udoskonaleń. Obecnie chodzi głównie o to, by w najrozmaitszych dziedzinach stworzyć szereg podstawowych przesłanek dla powszechnego wprowadzenia cybernetycznej formy automatyzacji. Co prawda cybernetyka, jako jedna z zasadniczych podwalin automatyki, w sposób decydujący ułatwi konstruowanie i projektowanie

coraz bardziej skomplikowanych i wydajniejszych maszyn liczących, w pełni zautomatyzowanych zakładów przemysłowych, a także gruntowną racjonalizację zarządzania i planowania itd., niemniej jednak naszym bezpośrednim zadaniem bieżącym nie jest budowa w pełni zautomatyzowanych gigantów fabrycznych ani też powszechna i kompleksowa automatyzacja całości gospodarki narodowej. Dziś należy wpierw zapewnić wyszkolenie i przygotowanie kadr fachowców, którzy będą projektować i budować owe kolosy dnia jutrzejszego. W tym celu nieodzowne jest włączenie cybernetyki i teorii automatyzacji w nasz ogólny system nauczania.

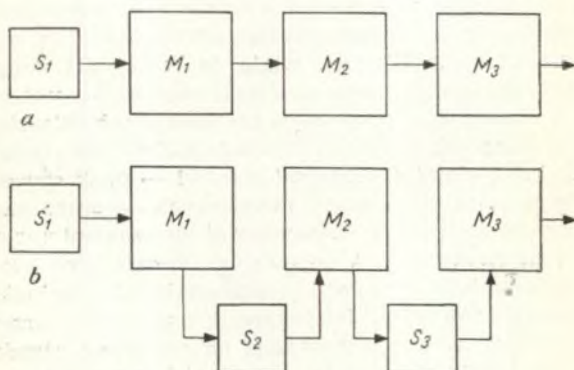
Tym bardziej cybernetyka winna stać się elementem składowym wielu gałęzi wiedzy, gdyż stwarza im zupełnie nowe możliwości, wiąże je ściślej niż dotąd z praktyką oraz pomaga rozwiązać różnorodne problemy, związane z automatyzacją poszczególnych dziedzin.

Najlepszą szkołę dla wychowania fachowców myślących kategoriami cybernetyki stanowi — obok stałego podwyższania kwalifikacji zawodowych — praca nad licznymi rozwiązaniami częściowymi, związanymi z tzw. małą automatyzacją, a dotyczącymi konkretnych problemów techniki regulacji, systemotechniki i techniki przekazu informacji. Inicjowana i realizowana przez robotników mała automatyzacja na codzienny użytek, dla ułatwienia pracy, daje oszczędności w pracy i materiałach, pomaga w intensyfikacji procesów produkcyjnych oraz stwarza podstawy dla uniwersalnej i kompleksowej automatyzacji.

Planowanie i kierowanie

Automatyzacja nie jest wyłącznie problemem technicznym. Automatyczna linia obrabiarkowa może na przykład pracować niezwykle wydajnie, ale w pewnych okolicznościach w ostatecznym rachunku przynieść niewiele pożytku. Jeśli funkcjonuje ona w formie sztywnej kolejności działań poszczególnych zespołów maszyn (na ryc. 28a przedstawiono schematycznie taki

stan rzeczy dla trzech bloków maszynowych M_1, M_2 i M_3; S_1 — oznacza magazyn surowców), przy awarii jednego z nich cała linia będzie unieruchomiona. Częste przestoje mogą nawet zupełnie zniwelować większą wydajność produkcyjną linii w porównaniu ze stanem sprzed automatyzacji. Aby tego uniknąć, należy koniecznie przewidzieć istnienie odpowiednich rezerw pomiędzy poszczególnymi zespołami. Obrabiany przedmiot nie może więc bezpośrednio przechodzić spod jednego zespołu maszyn do drugiego, lecz każdorazowo powinien trafiać do magazynu przejściowego lub — w języku cybernetyki — do małego „spichrza" (ryc



Ryc. 28. Automatyczna linia przetwarzająca z magazynami przejściowymi, i bez tych magazynów

28b). Rzecz jasna, założenie tego rodzaju spichrzy lub magazynów przejściowych rodzi szereg problemów. Nie mogą one bowiem być zbyt małe, ale też nie sposób je dowolnie powiększać. Nawet laik bez trudu dostrzeże, że bardzo obszerne magazyny przejściowe wymagają przeznaczenia na ten cel nieproporcjonalnie dużej części hali fabrycznej. Można jednak wykazać, że istnieją zależności między wielkością spichrzy i wydajnością poszczególnych zespołów maszyn z jednej, a wydajnością całej linii obrabiarkowej z drugiej stro-

ny. Nakładają one również ograniczenia na wielkość magazynów przejściowych, jeśli zakładamy, że wydajność linii nie może spaść poniżej dopuszczalnego poziomu.

Podobne trudności mogą się pojawić przy przejściu z jednej automatycznej linii do drugiej. Także i w tym wypadku celowe jest przewidzieć rezerwy, tak by w razie przestoju pierwszej linii nie nastąpiło równoczesne zatrzymanie drugiej z powodu braku półfabrykatów, nadających się do kolejnej fazy obróbki.

Przedstawione powyżej sytuacje ukazują wyraźnie, że w zakresie automatyzacji, obok technicznej strony zautomatyzowanego procesu występują również problemy ekonomiczne, które w naszym przykładzie dotyczyły spraw gospodarki wewnątrzzakładowej.

Poza tym niesłychanie ważne jest usunięcie dysproporcji między różnymi przedsiębiorstwami. Nie jest to nowy warunek, ale w ramach zautomatyzowanej produkcji wzrasta znaczenie dokładnego jej uzgodnienia między zakładami uzależnionymi od siebie. Rozmiary produkcji poszczególnych fabryk będą przy tym stale i w szybkim tempie wzrastać.

Także między różnymi gałęziami gospodarki narodowej musi istnieć odpowiednio zabezpieczona kooperacja, a na płaszczyźnie międzynarodowej — między krajami, które gospodarczo są ze sobą ściśle związane.

Jasne, że doskonalenie i wzrastająca precyzja w kierowaniu i planowaniu gospodarką ma pod pewnym względem donioślejsze znaczenie aniżeli rozwój mechanizacji i automatyzacji produkcji. Zautomatyzowany zakład, nie włączony, na przykład, odpowiednio w całokształt gospodarki narodowej, bądź nie będzie w stanie dostarczyć wystarczającej ilości wyrobów — gdyż sam otrzyma od innych przedsiębiorstw za mało surowców lub półfabrykatów, bądź też jego produkty nie będą mogły być celowo zużytkowane. Dlatego automatyzacja produkcji musi iść w parze ze stałym ulepszaniem metod planowania i kierowania.

Kraje socjalistyczne już od dłuższego czasu podejmują starania, aby przy zastosowaniu ścisłych metod

matematycznych zbliżyć się do rozwiązania podobnych problemów. W tym kontekście ważną rolę odgrywa pojęcie optymalizacji. Wyrażając się w sposób nieco uproszczony, rozumiemy pod nim zadanie ekonomiczne, polegające na uzyskaniu możliwie największych korzyści przy minimalnym nakładzie środków. Również i na tym polu zastosowanie metod cybernetycznych pozwoli uzyskać znaczne postępy.

Na czym opiera się powyższe przypuszczenie? Traktujemy społeczeństwo, zwłaszcza gospodarkę narodową, jako układy cybernetyczne o właściwościach typowych dla wszystkich poznanych przez nas uprzednio systemów cybernetycznych; składają się one na przykład z elementów lub podukładów. W zależności od charakteru problematyki mogą nimi być zarówno poszczególne wydziały zakładu, przedsiębiorstwo lub nawet zjednoczenie przemysłowe. Podukłady odnoszą się zawsze do całości systemu, którym stosownie do konkretnych okoliczności może być z kolei fabryka, zjednoczenie przemysłowe, a także cała gospodarka narodowa. Podobnie jak w układach cybernetycznych z innych dziedzin rzeczywistości, również między poszczególnymi „podukładami gospodarczymi" występują najrozmaitsze powiązania. Wyróżniamy przy tym dwie zasadnicze formy procesów wymiany między nimi — przepływy materiałowe i przepływy informacyjne. Jako przepływ materiałowy traktuje się transport kopalin i surowców z zakładów wydobywczych do przedsiębiorstw przetwórczych; może też dotyczyć on drogi obrabianego elementu w ramach automatycznej linii produkcyjnej lub przewozu produktu do innych zakładów, względnie konsumentów. Przepływy informacyjne w układach społecznych lub ekonomicznych również występują w najrozmaitszej postaci. I tak w działaniu automatycznych zespołów urządzeń ważną rolę odgrywają różnorodne procesy sygnalizacyjne i informacyjne. W samoregulujących układach cybernetycznych przepływy informacji i procesy przetwarzania danych stanowią zasadniczy warunek ich funkcjonowania.

Poza przepływami informacji, związanymi bezpośrednio z produkcją, mamy też do czynienia — na szczeblu zakładu lub też całej gospodarki narodowej — ze strumieniami informacji oraz procesami ich przetwarzania. Zaliczyć do nich należy wszelkie polecenia dyrekcji przedsiębiorstw wydawane kierownikom wydziałów, jak również dyrektywy nadrzędnych organów gospodarczych dla zakładów lub zjednoczeń, całość rozrachunków, czy to w zakresie płac i uposażeń, czy też kontroli zapasów materiałowych, różnorodne zadania związane z zarządzaniem przedsiębiorstwami i większymi jednostkami organizacyjnymi, a także w końcu sieć łączności między zakładami: telefoniczną, dalekopisową i pocztową.

W układach gospodarczych spotykamy się również ze zjawiskami regulacji. Na przykład tok produkcji regulują kierownictwa zakładów, zjednoczeń oraz państwowych organów gospodarczych w oparciu o skomplikowany mechanizm sprzężeń zwrotnych. Podobnie jak i w innych dziedzinach, tak i w ramach systemu gospodarki narodowej odnaleźć można w najrozmaitszych powiązaniach ekonomicznych elementy ogólnego schematu strukturalnego obwodów regulacyjnych.

Wszystkie powyższe właściwości układów cybernetycznych rzeczywiście występują w ekonomice. Nie chodzi więc w żadnym wypadku o to — zaznaczmy gwoli uniknięcia nieporozumień — by stosując metody cybernetyczne w dziedzinie ekonomii w pierwszym rzędzie konstruować takie układy, „budować je", jak to programowo ma miejsce w zakresie techniki. Raczej należy tu badać obiektywnie już istniejące w społeczeństwie układy cybernetyczne, poznawać dokładnie ich prawidłowości, aby na tej podstawie ulepszać je i tworzyć nowe struktury.

Od swego zarania społeczeństwo i jego ekonomika stanowią samoregulujące układy cybernetyczne i to niezależnie od faktu, czy ludzie zdawali sobie z tego sprawę czy też nie. W każdym razie systemy te — podobnie jak w odniesieniu do własności środków produkcji, stosunków politycznych itd. — tak i w aspekcie

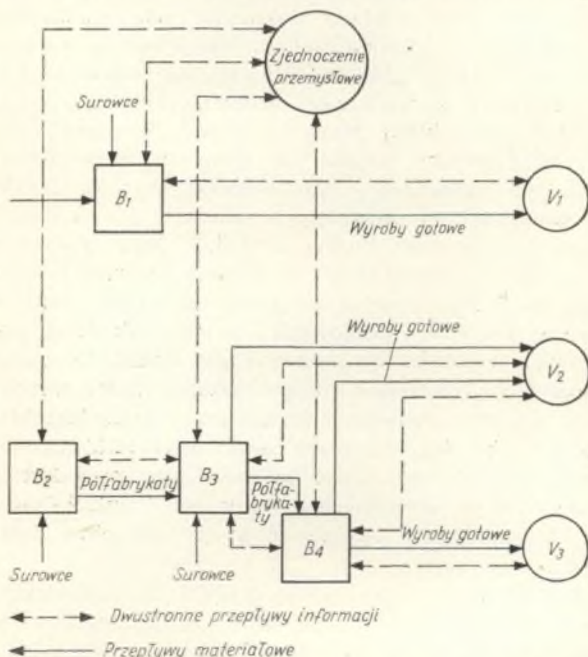
cybernetycznym nie zawsze i nie we wszelkich okolicznościach są takie same. Stabilność socjalistycznego układu cybernetycznego — jak wskazuje na to jego dotychczasowa historia — jest większa od stabilności systemu kapitalistycznego.

Dalsze doskonalenie i zwiększanie stabilności socjalistycznego systemu społecznego, a zwłaszcza układu gospodarki narodowej, jest niezbędne. Zadanie to w naszych czasach nabiera szczególnej wagi, gdyż obydwa te układy stają się coraz bardziej kompleksowe. Świadczy o tym chociażby tylko fakt, że musimy dbać o stabilność nie pojedynczych przedsiębiorstw lub jakiejś gałęzi przemysłu, lecz o cały system gospodarczy z jego najbardziej skomplikowanymi powiązaniami między poszczególnymi zakładami, dziedzinami produkcji, między przemysłem i rolnictwem, między czynnikami społecznymi a ekonomicznymi gospodarki narodowej itd. Poza kwestiami ekonomicznymi, w węższym sensie tego słowa, z zadaniami stabilizacji gospodarczej wiążą się też zagadnienia postępu naukowego we wszystkich ważnych dla gospodarki narodowej dziedzinach, włączając problemy wzrostu kadr naukowych, szkolnictwa itp.

Jak widać, kompleksowość systemu ekonomicznego w naszym społeczeństwie przewyższa stopień integracji wszystkich znanych nam dotąd układów technicznych, nawet tych najbardziej złożonych, jak elektroniczne maszyny liczące lub rakiety kosmiczne. O ile w początkowej fazie przejścia od kapitalistycznego do socjalistycznego ustroju społecznego musieliśmy się godzić na żywiołowy przebieg wielu procesów, o tyle dzisiaj, a tym bardziej w przyszłości, nie możemy już na tym polegać. Nieodpartą koniecznością staje się coraz pełniejsze zgłębienie mechanizmów ekonomicznych, przede wszystkim zaś poznanie warunków stabilności naszych systemów gospodarczych — podukładów, jak również całości ekonomiki — oraz zbadanie przyczyn chwilowych i częściowych zakłóceń. Zauważmy na marginesie, że wynika z tego — jako niezwykle ważna dyrektywa naukowa — nakaz pro-

wadzenia intensywnych badań podstawowych w dziedzinie ekonomii, wykorzystujących w znacznym stopniu metody cybernetyczne. Tylko w ten sposób zdobędziemy lepsze instrumenty dla opanowania procesów gospodarki narodowej.

Równocześnie stanie się też realne ciągłe doskonalenie planowania gospodarczego. Cybernetyka w ścisłym powiązaniu z matematycznymi metodami i modelami stwarza przy tym możliwość osiągnięcia zupełnie nowej jakości działalności planistycznej. Plan gospodarczy, układany przy pomocy dotychczas stosowanych metod, nigdy nie uzyska odpowiedniej doskonałości, gdyż układ dynamiczny w rodzaju systemu gospodarki narodowej nie może być ujęty w ramy praktycznie roz-



Ryc. 29. Uproszczony schemat strukturalny podukładu gospodarczego. B_1, B_2, B_3, B_4 — przedsiębiorstwa, V_1, V_2, V_3 — odbiorcy (konsumenci)

wiązywalnego układu równań matematycznych, jak to bywa w przypadku układów dynamicznych w większości dziedzin fizyki i techniki. Modelowanie cybernetyczne w zasadzie może uporać się z tymi trudnościami. Warunkiem wstępnym jest tu jednak opracowanie i zbudowanie przy pomocy środków fizyczno-technicznych modelu procesów ekonomicznych, który by odpowiadał możliwie dokładnie rzeczywistym stosunkom gospodarczym.

Powyższy fakt rodzi wiele problemów, które z pewnością dadzą się rozwiązać jedynie na drodze stopniowego zbliżania modeli gospodarki narodowej do rzeczywistości. Decydujące w tej kwestii jest jednak to, że wszystkie te zadania można dziś uznać za zasadniczo wykonalne. Jeśli dysponuje się modelem cybernetycznym, wystarczająco dokładnie odpowiadającym rzeczywistości gospodarczej, można wówczas skuteczniej wykorzystać plan, który na skutek niedostatecznego poznania prawidłowości ekonomicznych ma nawet istotne luki i braki. Mianowicie, zamiast natychmiast go wypróbować, niejako na żywo, w bezpośredniej praktyce społecznej i stale ulepszać oraz korygować w zależności od osiągniętych sukcesów lub poniesionych niepowodzeń, można uprzednio jego dyrektywy i wskaźniki „wprowadzić" do modelu cybernetycznego. Dokonując następnie na tej podstawie wielu kolejnych „eksperymentów modelowych", wnosić tak długo poprawki, aż uzyska się zadawalające wyniki, to znaczy zapewni się optymalny i proporcjonalny rozwój wszystkich jednostek gospodarczych zawartych w modelu (ideałem byłoby objęcie przezeń całości gospodarki narodowej). Teraz dopiero można by uznać plan gospodarczy, oparty już na uściślonych dyrektywach i wskaźnikach, za obowiązujący i realizować go w konkretnej działalności ekonomicznej.

Typ przedstawionego wyżej modelu cybernetycznego może na przykład składać się z różnych elementów elektronicznych, przy czym zużycie materiałowe w układzie gospodarczym modelowane byłoby przez odpowiednie straty napięcia na opornikach lub w roz-

gałęzionych połączeniach elektronicznych, natomiast zyski ekonomiczne — przez obwody wzmacniaczy itd. Modele takie mogą również zawierać tzw. „generatory przypadku", imitujące przypadkowe zmiany pewnych warunków ekonomicznych. Dzięki temu można będzie uwzględnić zupełnie przypadkowe wielkości, odgrywające rolę w systemie gospodarki narodowej, np. nagłe zmiany pogody wraz z całym ich negatywnym lub też pozytywnym wpływem na sytuację przemysłu i rolnictwa. Przy dotychczasowych metodach planowania jest to prawie nie do zrealizowania.

Wypróbowując w ten sposób najpierw różne warianty planu w cybernetycznym doświadczeniu modelowym, można będzie i dojdzie się w przyszłości do optymalnego i niezwykle ściśle uzasadnianego planowania.

Wskazywaliśmy już na to, że przesłanki po temu w pierwszym rzędzie muszą być stworzone w oparciu o badania podstawowe z zakresu ekonomii. Aby użyć bowiem tak wrażliwych instrumentów, jak metody matematyczne, czy też modele cybernetyczne, należy bardzo dokładnie znać i gruntownie przebadać dziedzinę, do której mają być one odniesione albo zastosowane. A w tym zakresie właśnie pozostaje jeszcze wiele do zrobienia.

W perspektywie, dla celów ogólnopaństwowego planu gospodarczego będą wykorzystane szeroko elektroniczne maszyny liczące, zawierające w sobie poniekąd modele gospodarki narodowej. W ten sposób — co może zrazu niektórego Czytelnika wprawić w zdumienie — także sama czynność planowania włączona zostanie w proces automatyzacji.

W systemie gospodarki narodowej mamy do czynienia z gradacją — „hierarchią" procesów sterowania i regulacji, zachodzących na różnych poziomach. Na najniższym procesy sterowania dotyczą samego przedmiotu pracy. Realizacja czynności regulacyjnych i sterowniczych następuje tu w automatycznych urządzeniach produkcyjnych. Te z kolei, jako całości zintegrowane pod względem ekonomicznym, podlegają proce-

som sterowania na wyższym szczeblu. Również i one mają różnorodny charakter i podobnie jak to zachodzi w układach technicznych, wykazują pewien hierarchiczny porządek — od przedsiębiorstwa, reprezentującego szczebel najniższy, poprzez gałąź przemysłu i gospodarkę narodową — aż do światowego systemu gospodarki socjalistycznej.

To, co w terminologii cybernetyki nazywa się regulacją, przesyłaniem i przetwarzaniem informacji, w języku ekonomii ujęte jest razem za pomocą słowa „kierowanie". Nowoczesna technika i cybernetyka dostarczają kierownictwu gospodarki narodowej doskonalszych metod zbierania odpowiednich danych o wynikach produkcji. Dane te następnie przekazywane są do ośrodków kierowniczych, ośrodków przetwarzania danych i powrotnego przekazu informacji sterujących do organów kierowniczych niższego szczebla i wreszcie do zakładów produkcyjnych. Podobnie jak w dziedzinie planowania, można w ten sposób wprowadzić automatyzację w zakresie przepływów informacyjnych, niezbędnych dla kierowania gospodarką. Jednocześnie zrealizowane zostanie ciągłe i operatywne sterowanie przepływami materiałowymi. Również i w tym przypadku warunkiem wstępnym jest przeprowadzenie różnych badań podstawowych z zakresu ekonomii, np. nad rodzajem i ilością mierników ekonomicznych, jakimi należy się posłużyć, oraz dokonanie dalszych postępów w takich dziedzinach, jak technika informacji i teletechnika, a w perspektywie rysuje się daleko posunięta automatyzacja ważnych procesów kierowania gospodarką narodową. Czynności człowieka skoncentrują się wówczas w pełni na wprowadzaniu i kontroli podstawowych wskaźników ekonomicznych. Jego decyzje w zakresie kierowania gospodarką staną się w najwyższym stopniu wolne od wszelkich momentów subiektywnych.

Opisany tu proces przewiduje również stopniowe eliminowanie pracy ręcznej i mechanicznych czynności umysłowych w działaniu organów zarządzania i administracji. Całość obliczeń płac i wynagrodzeń, jak

i wszystkie zadania księgowości, mogą być wykonywane przez układy automatyczne.

Możliwości, jakie cybernetyka i nowoczesna automatyka otwierają przed produkcją, planowaniem i kierowaniem gospodarką narodową, są zupełnie realne. Powinny one jak najszybciej przekształcić się w rzeczywistość, jeśli pragniemy uniknąć poważnych zahamowań w rozwoju sił wytwórczych naszego społeczeństwa. Realizacja tych zamierzeń przebiegać będzie na pewno — podobnie jak automatyzacja w przemyśle — jedynie poprzez szereg szczebli przejściowych, niemniej jednak już dzisiaj należy ją rozpoczynać, z uwagi na perspektywy rozwojowe naszej ekonomiki.

W Związku Radzieckim dokonano już szczegółowych przemyśleń, w jaki sposób należy sprostać tym olbrzymim zadaniom. Opierając się na doświadczeniach zdobytych w trakcie eksploatacji elektronicznych maszyn matematycznych dla potrzeb obliczeniowych nauki i techniki, stwierdzono, że skuteczne zastosowanie tych maszyn możliwe jest jedynie w ramach odpowiednio dużych ośrodków, dysponujących niezbędnym personelem fachowym oraz należytą aparaturą kontrolną i remontową. Na podstawie tych wniosków radziecki cybernetyk A. I. Kitow nakreślił interesujący obraz przyszłego rozwoju oraz zadań, wymagających rozwiązania.

Jak zauważa Kitow, w ostatnich latach w rozwoju elektronicznej techniki obliczeniowej pojawiła się tendencja do tworzenia uniwersalnych urządzeń kompleksowych, połączonych bezpośrednio kanałami przesyłowymi z dużą liczbą zleceniodawców. Urządzenia tego rodzaju otrzymują od zleceniodawców informacje i automatycznie dostarczają im żądanych wyników.

Z chwilą wyposażenia ośrodków obliczeniowych w takie kompleksowe zespoły maszyn, zmieni się zasadniczo struktura oraz charakter ich działalności. Z instytucji, przekazujących rezultaty poszczególnych zleceń niemal od ręki, przekształcą się one w skomplikowane automatyczne, a nawet samoorganizujące się systemy przetwarzania informacji, w pełni nada-

jące się zarówno do przeprowadzania złożonych obliczeń, jak i do przetwarzania danych lub kierowania procesami gospodarczymi. Urządzenia liczące tych ośrodków są w stanie równocześnie rozwiązywać najprzeróżniejsze zadania, automatycznie wybierać ich optymalną kolejność, dokonać przygotowań i opracowania programu zadań, ustalić najdogodniejszy podział czasu dla przekazania rozwiązań, jak również automatycznie kontrolować własny tok pracy.

Stwierdzono, że wprowadzenie takich wysoce wydajnych systemów dla scentralizowanego przetwarzania informacji i przeprowadzania obliczeń jest o wiele bardziej ekonomiczne niż uruchamianie i wykorzystywanie wielu małych maszyn w najrozmaitszych instytucjach. Podobne ośrodki obliczeniowe przetwarzające dane stanowią niejako zautomatyzowane biura, instytucje administracyjne, połączone kanałami przesyłowymi z obsługiwanymi przez nie przedsiębiorstwami i urządzeniami. Jako przykład posłużyć może ośrodek automatycznego przetwarzania danych firmy *Silvania* w USA, połączony liniami telekomunikacyjnymi o łącznej długości ponad 50 000 km z licznymi instytucjami, przedsiębiorstwami i filiami, położonymi na terenie całego kraju.

Oprócz połączeń ośrodków obliczeniowych i informacyjnych z poszczególnymi urządzeniami i przedsiębiorstwami, należy stopniowo tworzyć odpowiednie połączenia między samymi ośrodkami. W przyszłości sieć ośrodków, połączonych ze sobą kanałami przesyłowymi, utworzy jednolity system kierowania gospodarką narodową całego kraju.

Rozwiązanie tych zadań często wymaga dokonania zasadniczych zmian w organizacji pracy pewnych instytucji i urządzeń, a także w sposobie przygotowania materiałów informacyjnych. Na przykład dokumentacja i tok jej opracowywania muszą mieć charakter jednolity. Stopniowa automatyzacja prac administracyjnych zastąpi istniejący dziś masowy obieg pism kursujących między instytucjami przez telefoniczną, telegraficzną i telewizyjną wymianę informacji, połą-

czoną z automatycznym zapisem i przetwarzaniem napływających danych w elektronicznych maszynach liczących oraz z automatycznym ich gromadzeniem w urządzeniach pamięciowych tych maszyn.

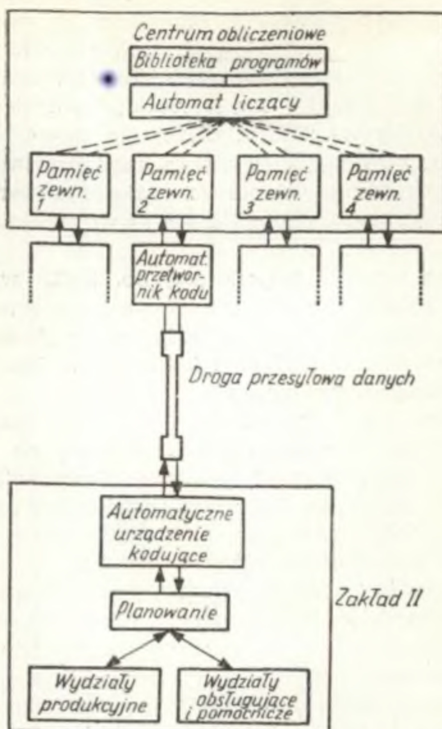
W państwach socjalistycznych istnieją wszelkie możliwości dla pełnego wykorzystania osiągnięć nauki i techniki. Jedna z nich, której nie sposób urzeczywistnić w ramach społeczeństwa kapitalistycznego, polega na tworzeniu jednolitego zautomatyzowanego systemu kierowania, obejmującego swym zasięgiem cały kraj.

Analiza sytuacji gospodarczej np. ZSRR wykazuje, że rozwinięcie prac nad utworzeniem zautomatyzowanego systemu kierowania gospodarką jest obecnie sprawą zupełnie realną oraz że istnieją już niezbędne po temu przesłanki materialne *.

Podobne tezy wysuwa się i w innych państwach obozu socjalistycznego. Schemat ukazany na ryc. 30, dotyczący automatyzacji procesów planowania, opracowany został przez Centralny Instytut Przetwarzania Danych NRD. Istniejące na terenie danego kraju ośrodki obliczeniowe różnych instytucji i przedsiębiorstw można ponadto traktować jako zalążki przyszłych ośrodków obliczeniowych i centrów przetwarzania informacji w scharakteryzowanym przez Kitowa automatycznym systemie kierowania gospodarką. W tym celu muszą one zostać odpowiednio uzupełnione, a przede wszystkim — po zakończeniu szeroko zakrojonych badań wstępnych nad sposobami i metodami kompletowania i przetwarzania danych — połączone między sobą oraz z przedsiębiorstwami, instytucjami administracyjnymi i pozostałymi, ważnymi dla gospodarki narodowej jednostkami organizacyjnymi. Można dziś stwierdzić, że nadszedł czas, aby w oparciu o zdobyte doświadczenia budownictwa socjalistycznego opracować model całościowego systemu kierownictwa państwowego. Osiągnięty poziom rozwoju spo-

---

* Patrz: Kitow I. A.: *Die Kybernetik und die Leitung der Volkswirtschaft — Sowjetwissenschaft,* Gesellschaftwiss. Beiträge 1962, zesz. 10, str. 1165.



Ryc. 30. Podłączanie wielu przedsiębiorstw do jednego ośrodka obliczeniowego. Przebieg procesu planowania:

1. Wydział planowania przekazuje — jako dane wyjściowe do rocznego planu produkcji — normy wydajności pracy i zużycia materiałów oraz wielkość funduszu płac i zaopatrzenia materiałowego
2. Przekazanie danych do urządzenia kodującego. Kodowanie
3. Przesłanie zakodowanych danych do ośrodka obliczeniowego. Zmagazynowanie ich w pamięci
4. Odwrotne przesłanie wyników (zakodowanych) do urządzenia dekodującego w przedsiębiorstwie
5. Przesłanie wyników do wydziału planowania
6. Ocena wyników wspólnie z wydziałami produkcyjnymi i pomocniczymi
7. Ewentualne powtórzenie procesu przy uwzględnieniu dodatkowych warunków

łecznego czyni to zadanie szczególnie pilnym, tym bardziej że istnieją już dostateczne przesłanki teoretyczne i praktyczne dla jego rozwiązania.

Człowiek i automat

W poprzednich rozdziałach przedstawiliśmy problemy związane z rozwijającą się automatyzacją. Obejmują one nie tylko produkcję i wymianę, lecz również działania planistyczne i kierownicze, realizowane na najróżniejszych szczeblach. Automatyzacja — niezależnie od szczegółów swych konkretnych rozwiązań — oznacza zastępowanie ludzkiej pracy fizycznej lub też pewnych czynności umysłowych. I dlatego rozwój automatyzacji rodzi szereg problemów, związanych z funkcją człowieka w przyszłym świecie maszyn. Jakie jest miejsce człowieka w wieku powszechnej automatyzacji?

Dotąd świadomie unikaliśmy takich kwestii. Mówiąc jednak o automatyzacji procesów planowania i kierowania wspomnieliśmy już o nader istotnej okoliczności: aby właściwie odpowiedzieć na pytania tego rodzaju, należy rozpocząć od stwierdzenia, że proces automatyzacji i jego wpływ na pozycję socjalną człowieka w procesie produkcji i w ogóle w społeczeństwie zależy od ustroju społecznego. W tym względzie prognozy dla ustroju kapitalistycznego różnią się diametralnie od perspektyw społeczeństwa socjalistycznego i komunistycznego.

Obrońcy ustroju kapitalistycznego dokonują zdecydowanie pesymistycznych analiz, a dotychczasowe tendencje rozwojowe nie stwarzają absolutnie żadnych możliwości sformułowania wniosków przeciwstawnych. W USA rośnie na przykład nieustannie liczba bezrobotnych, którzy utracili pracę niewątpliwie na skutek postępującej automatyzacji. Jednocześnie specjaliści, których czynności przejęły automaty, spychani są w coraz większej mierze w szeregi robotników niewykwalifikowanych. Zjawiska tego rodzaju rejestrują nawet burżuazyjni ideologowie i odpowiednio pesymistycznie je interpretują. Nowoczesną technikę przed-

stawiają oni jako wrogą ludziom, a z człowieka czynią ofiarę rozwoju technicznego.

Spróbujemy szkicowo choćby scharakteryzować rolę, jaką spełnia człowiek w procesie automatyzacji, przebiegającym w warunkach socjalizmu i komunizmu. Ponieważ musi on stworzyć środki automatyzacji we wszystkich dziedzinach, a automatyzacja w ramach postępowego procesu historycznego winna przybrać charakter powszechny, niezbędne staje się wciąż wzrastające zaangażowanie w tym zakresie zarówno środków materialnych, jak i żywej pracy ludzkiej. Wymagane przy tym sposoby działania i rodzaje czynności człowieka różnią się zasadniczo od najbardziej dziś rozpowszechnionych. Wskazywaliśmy już na to, że dla urzeczywistnienia powszechnej automatyzacji niezbędne są nowe osiągnięcia techniczne, opierające się na odpowiednich badaniach naukowo-technicznych. Ponadto nieodzowne jest prowadzenie najróżniejszych badań podstawowych w zakresie przyrodoznawstwa i nauk społecznych. Dlatego rozwój nauki i techniki będzie o wiele szybszy niż dziś.

Rozwój środków automatyzacji wymaga bardzo dużej liczby wykształconych i wysoko wykwalifikowanych specjalistów w prawie wszystkich gałęziach nowoczesnej techniki i nauki. Nasze szkolnictwo musi sprostać tym wymaganiom. Zwarty i jednolity system kształcenia w państwie socjalistycznym w powiązaniu z istniejącym obowiązkiem nauczania podstawowego i w najbliższej przyszłości średniego tworzą w tym względzie najważniejsze przesłanki dla odpowiednio ukierunkowanego rozwoju. Oprócz podwyższania kwalifikacji pracowników w obrębie tradycyjnych zawodów stale rosnąć będzie liczba fachowców w zupełnie nowych specjalnościach i to w najróżniejszych dziedzinach, częściowo bezpośrednio związanych z automatyką. Już dziś np. mamy do czynienia z zawodem operatora maszyn matematycznych, programisty itp.

Wskazywaliśmy, że proces automatyzacji ma charakter historyczny. Na wszystkich jego etapach spotykamy się dotąd z pewnym, niezautomatyzowanym

zakresem działalności ludzkiej, w którym z kolei wyróżnić można dwa podzakresy. Jeden z nich dotyczy niezautomatyzowanych prac remontowych maszyn i automatów; również i tego rodzaju czynności wymagają ciągłego wzrostu kwalifikacji. W tej dziedzinie należy spodziewać się powstania wielu nowych specjalności zawodowych, np. monter wykonujący naprawy wysoce skomplikowanych urządzeń automatycznych powinien nieporównanie więcej wiedzieć i umieć aniżeli dzisiejszy ślusarz maszynowy. Za kilkanaście lub nawet kilka lat w niektórych dziedzinach wiedzy jego kwalifikacje będą musiały być wyższe od obecnego technika lub inżyniera, a w dalszej przyszłości brygady remontowe składać się będą z absolwentów szkół wyższych.

Drugi niezautomatyzowany podzakres czynności człowieka, dziś ze zrozumiałych względów jeszcze dominujący, obejmuje działania nie dające się zautomatyzować w danym czasie ze względów techniczno-naukowych lub ekonomicznych. Będzie on jednak, i to w rosnącym tempie, malał zarówno w sferze przemysłu, rolnictwa i komunikacji, jak i przy realizacji czynności służbowych na wszystkich płaszczyznach działalności administracyjnej. Coraz większa liczba osób spośród zatrudnionych będzie musiała się odpowiednio przekwalifikować, aby sprostać wymogom przy obsłudze nowych urządzeń automatycznych.

Należy wspomnieć, że chociaż rewolucja techniczna i związany z nią ściśle proces automatyzacji stanowią podstawowy aspekt socjalistycznej i komunistycznej przebudowy społeczeństwa, nie mniejsze znaczenie dla przyszłej działalności człowieka ma realizacja socjalistycznej rewolucji kulturalnej. Najbliższa przyszłość stanie się nie tylko wiekiem nauki i automatyki, lecz w równej mierze epoką nowego rozkwitu kultury i nauki. Znacznie więcej ludzi niż obecnie zajmować się będzie aktywnie i twórczo filozofią i literaturą, muzyką i rzeźbą, malarstwem i grafiką.

Powyższe perspektywy, które urzeczywistnią się w przyszłości tylko w warunkach powszechnego i da-

lekowzrocznego planowania gospodarki narodowej i całości życia społecznego, zakładają jednocześnie wzrost wydajności pracy i efektywności wysiłku człowieka. Stopniowo zbliżać się będziemy do tego ideału komunistycznego, o którym już w ubiegłym wieku marzyli Marks i Engels: każdy według swoich zdolności, każdemu według jego potrzeb. Jedynie kompleksowa automatyzacja może ten cel urealnić i doprowadzić w końcu do zastąpienia podstawowej zasady socjalizmu — każdemu według jego pracy. Fundamentalną bowiem przesłankę zaspokojenia materialnych i duchowych potrzeb człowieka stanowi wytwarzanie obfitości wszelkich produktów.

Rozwój ten wiąże się ściśle z realizacją jeszcze jednego ideału socjalizmu i komunizmu — z uwolnieniem człowieka od ciężkiego trudu fizycznego oraz jednostajnych, zrutynizowanych czynności umysłowych. Stopniowo praca ludzka przekształcać się będzie we wszystkich zasadniczych dziedzinach w prawdziwą działalność twórczą. W coraz większym stopniu przestanie ona być wyłącznie drogą dla zdobycia środków utrzymania, znojem i ciężarem, gdy wiąże się z ciężkim wysiłkiem fizycznym lub monotonią operacji myślowych, lecz stanie się pierwszą potrzebą życiową człowieka, której spełnienie dostarczy mu radości i szczęścia. Jak długo ludzie pozostaną dodatkiem do maszyny lub będą niejako częściami maszynerii wytwórczej, podporządkowanymi w pełni jej rytmowi pracy — całymi dniami dostarczającymi jeden i ten sam przedmiot do określonego miejsca, przykręcającymi stale dwie śrubki lub wystukującymi cyfry na klawiaturze biurowej maszyny do liczenia — nie może być o tym mowy. Dokonująca się u nas rewolucja socjalistyczna doprowadziła już do zasadniczych zmian w pozycji socjalnej człowieka, zniesiono u nas wyzysk człowieka przez człowieka. Na forum najrozmaitszych instytucji demokratycznych posiada on możliwość obrony swych interesów, zharmonizowanych z interesami ogółu. Nie zmienia to jednak faktu, że techniczny aspekt sytuacji człowieka w procesie produkcji,

fizyczne i psychiczne tego następstwa pozostają w początkowej fazie budownictwa socjalistycznego w zasadzie takie same, jak w warunkach kapitalizmu. Ponieważ socjalizm musi przezwyciężać spuściznę kapitalistyczną, zmuszeni jesteśmy przejąć pozostawione nam w spadku przez poprzednią epokę instrumenty produkcyjne i jedynie stopniowo możemy zastępować je bardziej doskonałymi, pozwalającymi wyrwać człowieka z trybów bezdusznej maszynerii. Warto wiedzieć, że w wieku XIX Karol Marks tak opisywał ten proces:

„Nie ma już więcej robotnika, wsuwającego zmodyfikowany przedmiot natury jako ogniwo pośrednie między nim i obiektem; natomiast proces przyrodniczy, przekształcony przezeń w przemysłowy, wstawia on jako środek między siebie i przyrodę nieorganiczną, którą opanowuje. Staje on obok procesu produkcji, miast być jego głównym przedstawicielem" *.

W tym kontekście interesujące jest prześledzenie historii rozwoju stosunków między człowiekiem i maszyną; dostarcza bowiem ważnych wskazówek odnośnie dalszych perspektyw oraz sprzyja ich lepszemu zrozumieniu. Wszystkie narzędzia i maszyny, opracowane i zbudowane przez człowieka, służą — podobnie jak wykorzystywanie szeregu zwierząt: koni, wielbłądów itd. — zwielokrotnieniu jego własnych skromnych sił. To samo odnosi się i do przyszłego rozwoju. Stosunek człowieka do maszyny ulega jednak w toku historii stopniowym zmianom.

Maszyna jest wytworem rąk i głów ludzkich, rezultatem oddziaływania człowieka na przyrodę nieorganiczną, ale jednocześnie dzięki temu jest także elementem jego przekształconego środowiska i w tej mierze częścią składową świata uczłowieczonego. Człowiek przystosowuje się do swego otoczenia zewnętrznego. Ale zarazem przystosowuje on również świadomie to środowisko do swoich ludzkich potrzeb. Takie zachowanie zasadniczo odróżnia człowieka od zwierząt,

---

* Karol Marks: *Grundrisse der Kritik der politischen Oekonomie*. Berlin, 1953, str. 592.

zmieniających swe środowisko tylko przypadkowo i nieświadomie. Między człowiekiem i maszyną zachodzi wzajemny proces adaptacyjny, w którym w istocie pierwotna rola przysługuje człowiekowi. Nie spełnia jej on jednak we wszystkich aspektach. Mimo że tworzy maszynę, by przezwyciężyć lub częściowo wyrównać swe własne braki w walce z przyrodą, musi ze swej strony skompensować z kolei względne jej niedoskonałości specyficznymi ludzkimi środkami. Z technicznego punktu widzenia maszyna, z chwilą swego powstania, podporządkowuje więc sobie pod pewnym względem także i człowieka.

Ujawnia się to ze szczególną jaskrawością w procesie rozwoju techniki. Rewolucja przemysłowa w XIX wieku, szczególnie zaś racjonalizacja przeprowadzana za pomocą systemów taśm produkcyjnych prowadziła do tego, że człowiek stawał się dodatkiem do maszyny. Cały dzień zajmował się dokręcaniem jednej z nakrętek lub wstawianiem jednego typu sworznia w odpowiednie otwory. W celu osiągnięcia większej wydajności zwiększano przy tym stale prędkość przesuwu taśmy. Ten podział czynności w porównaniu z produkcją jednostkową jest bardzo ekonomiczny, ale uzyskuje się go w tym przypadku jedynie kosztem bezpośredniego wytwórcy — robotnika, kosztem jego zdrowia wraz z tendencją do fizycznej i duchowej degeneracji człowieka.

W związku z tym interesuje nas następujący problem: prędkość ruchu taśmy montażowej nie może przekroczyć określonej wartości granicznej, ponieważ musimy uwzględnić fakt funkcjonowania człowieka jako części składowej całości mechanizmu produkcji. Ludzie bowiem mogą wykonywać określone czynności jedynie z pewną maksymalną szybkością, która w dodatku może być utrzymywana tylko przez pewien ograniczony czas. Powyższe spostrzeżenie pozwala wyciągnąć wniosek, że podobne sprzężenie człowieka z maszyną wyznacza samej maszynie granice jej zdolności produkcyjnej, uzależnione przede wszystkim od człowieka.

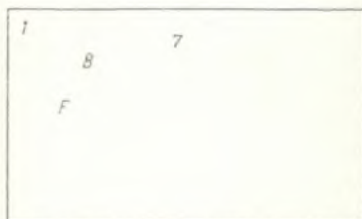
Maszyny tego typu budowano mniej więcej do połowy XX wieku. Zwielokrotniały one co prawda siły i możliwości ludzkie, jednak musiały być dostosowane jednocześnie do wydolności psychofizycznej obsługującego je człowieka. W związku z tym wystąpiłaby z pewnością stagnacja w rozwoju techniki maszynowej, gdyby nie nowe możliwości, jakie stworzyła nowoczesna automatyzacja, zwłaszcza w jej wydaniu cybernetycznym.

Jakie więc granice ludzkich zdolności wytwórczych może pokonać automatyzacja? Czysto fizyczne bariery nie odgrywają tu głównej roli; wszak maszyny nieomal nieograniczenie mogą wzmacniać wydatkowaną energię człowieka. O wiele bardziej decydujące znaczenie ma fakt, że człowiek nie może dowolnie przyspieszać procesów sterowania. Robotnik przy taśmie montażowej tylko z pewną maksymalną prędkością potrafi umieszczać sworzeń w wyznaczonym otworze. Dlatego bieg taśmy powinien być dostosowany do tej maksymalnej prędkości.

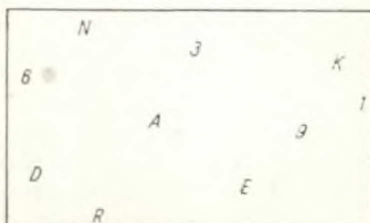
Przyczyny owych ograniczeń człowieka tkwią w istocie w jego niektórych właściwościach fizycznych i psychicznych. W organizmie ludzkim impulsy nerwowe przebiegają z pewną skończoną prędkością. Poprzednio neurofizjologia, a obecnie badania neurocybernetyczne, zebrały w tym zakresie przebogaty materiał naukowy. Niezwykle ważnym momentem jest tu tak zwany „czas martwy", czyli okres, w którym komórki nerwowe człowieka nie są w stanie zareagować na nowe impulsy. Dlatego w zbyt krótkich interwałach czasowych nie mogą być odbierane bodźce ze świata zewnętrznego ani też podejmowane odpowiednie działania. Dolna granica czasu martwego wynosi około 1/100 sekundy. Tylko wskutek intensywnego treningu okres ten daje się nieznacznie skrócić.

Dla zilustrowania problemu wyobraźmy sobie następujące doświadczenie. Człowiek otrzymuje sygnał świetlny, po którym ma nacisnąć przycisk. Jeśli do tej aparatury dołączymy zegar kontrolny, możemy dokładnie ustalić „bezwładność reakcji" badanego osobnika.

Przy kierowaniu samochodem przeprowadzanie podobnych badań ma duże znaczenie. Określa się w ten sposób „sekundę strachu" — czas, poniżej którego człowiek nie jest zdolny do reagowania, reakcja nieuchronnie następuje zbyt późno. Oprócz ściśle ograniczonego czasu przebiegu impulsów nerwowych, na przeszkodzie dowolnemu przyspieszaniu ludzkich procesów sterowania stoi względnie niewielka zdolność człowieka do jednoczesnej koncentracji swej uwagi na wielu obiektach, zdarzeniach lub czynnościach. Przyczyna tego tkwi w budowie i sposobie funkcjonowania naszego mózgu. I tak człowiek dorosły potrafi równocześnie utrwalić w swym spostrzeżeniu co najwyżej cztery do sześciu różnych, niezależnych od siebie obiektów. O ile na przykład jednym spojrzeniem można objąć rycinę 31, o tyle nie da się tego uczynić z ryciną 32. A więc i spostrzegawczość nasza jest ściśle ograniczona.



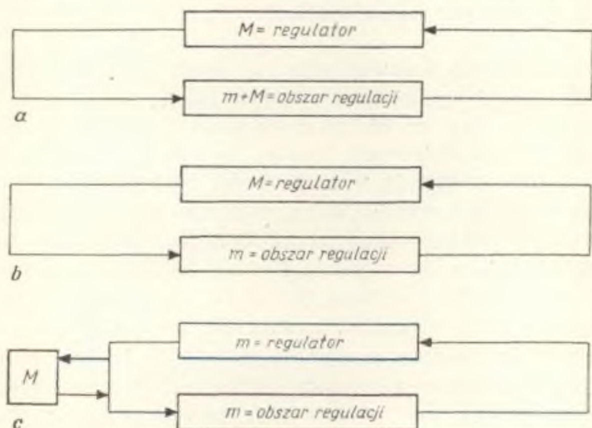
Ryc. 31. Obraz testowy (z 4 obiektami) dla kontroli spostrzegawczości



Ryc. 32. Obraz testowy (z 10 obiektami) dla kontroli spostrzegawczości

Podobnie ma się również sprawa ze zdolnością dzielenia swej uwagi. Człowiek nie potrafi wykonywać jednocześnie dwóch czynności, jeśli każda z nich wymaga zastanowienia oraz koncentracji nad wieloma szczegółami realizacji. Obydwie jednak cechy — duża spostrzegawczość i zdolność dzielenia uwagi pomiędzy liczne czynności — stanowią często wymóg nowoczesnych procesów sterowania i regulacji. Od granic ludzkiej spostrzegawczości i podzielności uwagi zależy też sprawa jednoczesnej obsługi wielu maszyn oraz niezawodność kontroli licznych wskaźników na tablicach centralnych rozdzielni. Łatwo można spowodować przeciążenie i zmęczenie dyspozytora, który spełnia funkcję kierowniczą w centralnych ośrodkach sterowania. Na określonym etapie rozwoju trzeba będzie więc człowieka zastąpić cybernetycznym automatem.

Przechodzenie człowieka w coraz większym stopniu na pozycje zewnętrzne wobec maszyny i narzędzi technicznych stanowi nieodzowny warunek dalszego rozwoju techniki i wraz z tym wzrostu wydajności



Ryc. 33. Rozwój związków cybernetycznych między człowiekiem a maszyną

pracy, jako decydującej podstawy dobrobytu społeczeństwa.

Na drodze ku automatyzacji można wyróżnić trzy podstawowe etapy — manipulowanie, mechanizację i automatyzowanie. Charakteryzują one jednocześnie stopniowe wycofywanie się człowieka z bezpośrednich czynności produkcyjnych. Ryc. 33 przedstawia schematycznie przebieg tego procesu. Na szczeblu manipulacji (ryc. 33a) jeden z podukładów człowieka (mózg) reguluje działanie systemu składającego się z maszyn i innego podukładu organizmu ludzkiego (np. mięśni rąk i ramion). Przy mechanizacji człowiek pełni już tylko rolę regulatora procesu (ryc. 33b). Automatyzacja natomiast stawia człowieka w pozycji konstruktora i nadzorcy układu regulacji (ryc. 33c). Na jeszcze wyższym stadium automatyzacji człowiek wytycza wyłącznie cele produkcyjne i przekazuje układom automatycznym wykryte przez niego ogólne zasady rozwoju.

Czy maszyny mogą myśleć?

Znamy już niektóre typy automatów o działaniu, które dotąd wydawało się być wyłączną domeną człowieka. Dotyczy to nie tylko czynności fizycznych, lecz także i psychicznych, jakie automaty „spełniają", względnie zastępują w tym sensie, że przejmują również funkcje kontroli i mogą podejmować logiczne „decyzje", do czego dotąd zdolni byli jedynie ludzie. Im bardziej skomplikowane są funkcje kontroli, tym więcej trudności napotyka człowiek w opanowaniu związanych z tym procesów myślowych. Jeśli więc stwierdzamy, że maszyny przejmują też ludzkie funkcje kontroli, to możemy z pewnym przybliżeniem powiedzieć, że przejmują one lub zastępują pewne czynności duchowe.

Jeśli uprzytomnimy sobie powszechność występowania tego zjawiska we współczesnej technice, przestaniemy dopatrywać się w nim czegoś szczególnego. Żaden człowiek nie stwierdzi w takich okolicznościach,

że maszyna „myśli". Cybernetyk powie wówczas jedynie, że różniące się od siebie układy mogą wykazywać podobny lub analogiczny sposób zachowania. O realności tej tezy przekonaliśmy się już w związku z analizą „czarnej skrzynki", przy czym zauważyliśmy, że jedną i tą samą funkcję mogą realizować niezwykle różne struktury. Podsumujmy więc: chociaż maszyny zastępują człowieka w wykonywaniu licznych czynności fizycznych i umysłowych, znane nam zestawy techniczne nie pozwalają na wyciągnięcie konkluzji, że zachodzą w nich tego samego rodzaju procesy cielesne lub duchowe. Pytanie, czy maszyny mogą myśleć, postawione powyżej w naszym śródtytule, wydaje się — z tego punktu widzenia — zupełnie absurdalne.

Gdy powołujemy się na dzisiejszą technikę, bierzemy oczywiście pod uwagę stosunkowo proste przykłady. W przyszłości funkcje kontrolne, sprawowane dotąd przez ludzi, przejmować będą nowoczesne układy maszynowe. Obecna technika zrodziła zupełnie nowy rodzaj maszyn, który możemy określić jako „maszyny informacyjne". Są to urządzenia techniczne skonstruowane wyłącznie do „liczenia", „dokonywania przekładów" itd., to znaczy w celu zastąpienia umysłowych funkcji człowieka. Szczególnie zdumiewające wyniki osiągają elektroniczne maszyny liczące. Rozwiązują one zadania z szybkością, która przekracza znacznie możliwości matematyków. Wielu zadań człowiek w ogóle nie mógł rozwiązać, gdyż nie starczało życia, aby dokonać wszystkich niezbędnych w tym celu obliczeń. Maszyna natomiast z olbrzymią szybkością realizuje to w ciągu paru sekund. Spekulacje wokół „myślących" maszyn i automatów wiążą się zazwyczaj właśnie z tego rodzaju maszynami liczącymi i ich perspektywami rozwoju.

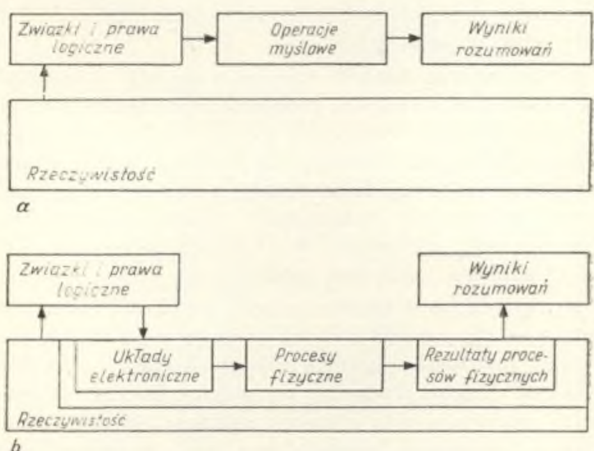
Jeśli zapoznamy się z osiągnięciami nauki o teoretycznych możliwościach takich maszyn, to ich gruntowna analiza filozoficzna i logiczna pozwoli nam na wyciągnięcie wniosku, że sprawność maszyn cybernetycznych — w porównaniu ze sprawnością osiąganą przez mózg ludzki — nie natrafia na żadne zasadnicze

ograniczenia *). Pamiętajmy jednak, że teza ta dotyczy tylko tych rezultatów, dostarczanych przez maszyny, które zwykliśmy dotąd uzyskiwać od człowieka. Wypada również zauważyć, że ze względu na jej dużą ogólność należy przy tym wziąć pod uwagę nie tylko obecny stan rzeczy, lecz również perspektywy dalszego rozwoju. Jeśli na przykład znane dzisiaj elektroniczne maszyny liczące otrzymują swe programy od programistów, a więc od ludzi specjalnie w tym celu wyszkolonych, to maszyny przyszłości same będą je opracowywać dla siebie, a nawet samodzielnie i celowo je zmieniać stosownie do zmian „warunków środowiska".

W elektronicznych maszynach matematycznych spotykamy się w istocie rzeczy z zupełnie podobną sytuacją, z jaką mieliśmy do czynienia, gdy mówiliśmy uprzednio o prostych mechanizmach kontrolnych. Także i w tym przypadku nie wolno na podstawie równoważnego lub analogicznego zachowywania się wnioskować o jego tożsamości. Co prawda wyniki dostarczane przez maszyny liczące mogą być zgodne z rezultatami pracy myślowej matematyków, ale procesy zachodzące w tych urządzeniach technicznych nie są żadnymi operacjami myślowymi o charakterze formalno-logicznym lub jakimś innym, lecz stanowią — oparte na fizycznych podstawach — procesy przetwarzania informacji. Fakt, że maszyny matematyczne potrafią dostarczyć wyników, odpowiadających rezultatom myślenia, znamy już z rozważań o „maszynie analogowej", zawartych w rozdziale o metodzie modelowania. Prawa i relacje formalno-logiczne, obowiązujące w naszym myśleniu, stanowią abstrakcje z rzeczywistego świata. Dlatego musi istnieć możliwość odzwierciedlenia, odwzorowania ich za pomocą jakichś realnych stanów rzeczy. Dla stworzenia „modelu" operacji logicznych wystarczy tylko określić wzajemne przyporządkowania związków formalno-logicznych związkom realnym, zachodzącym w wybranej dziedzinie rzeczywistości. To, że w tym celu wybiera się najczęściej zakres zjawisk

* Por.: G. Klaus: *Kybernetik in philosophischer Sicht.* Berlin, 1965, str. 146 i następne.

świata materialnego, obejmowany przez elektronikę i układy połączeń elektronicznych, ma swe źródło w niezwykłej szybkości przebiegających w nim procesów. Jest ona zarazem zasadniczą przyczyną zdumiewających rezultatów osiąganych przez elektroniczne maszyny liczące, pozostawiających pod pewnym względem daleko w tyle efekty działania mózgu ludzkiego. Ryc. 34 przedstawia to na schemacie. W pierwszym przypadku mamy do czynienia z powiązaniami „tradycyjnymi" — przy pomocy praw i związków logicznych uzyskanych drogą abstrakcji z powiązań między realnymi faktami, umysł ludzki przeprowadza rozumowania wiodące w końcu do określonych rezultatów myślowych (ryc. 34a). Drugą możliwość obrazuje



Ryc. 34. Dwie możliwe drogi rozumowań zmierzające do jednego wyniku

ryc. 34b — również i tutaj punktem wyjścia jest znajomość związków i praw logiki. Jednak miast operacji myślowych w mózgu dokonuje się tu „przeniesienia" zależności logicznych w pewien wycinek rzeczywistości — do układów elektronicznych. Z kolei zachodzą tam odpowiednie, „normalnie" występujące procesy fizyczne, które prowadzą do określonych wyników.

Odwrotny ich „przekład" na „język myśli ludzkich" pozwala nam znów na uzyskanie rezultatów myślowych.

Możemy więc wyciągnąć wniosek, że maszyny nie mogą myśleć (włączając w to i elektroniczne maszyny liczące), zakładając naturalnie, że pojęcie „myślenia" określamy zgodnie ze zwykłym jego rozumieniem obowiązującym w psychologii i teorii poznania. Niemniej jednak w maszynach matematycznych zachodzą procesy analogiczne do zjawisk myślenia i stanowiące modele operacji logicznych. Przewaga maszyn liczących nad człowiekiem polega między innymi na tym, że procesy fizyczne w maszynach przebiegają z reguły precyzyjniej i znacznie szybciej aniżeli ludzkie procesy umysłowe, których prędkość ma — jak już wiemy — względnie wąskie granice.

W literaturze krajów kapitalistycznych spotykamy się często z mistyfikacją problemów filozoficznych, jakie narzucają się w związku z budową elektronicznych maszyn liczących. Istnieje już obecnie w literaturze popularnonaukowej, filozoficznej, a nawet pięknej cała grupa publikacji, ukazujących fantastyczne obrazy przerażającej przyszłości, w której „cybernetyczne roboty" panować będą nad ludźmi.

W dążeniu do przeciwstawienia się szkodliwym spekulacjom i psychozie strachu próbuje się niekiedy nakreślać zbyt wąskie granice dalszej ewolucji automatów cybernetycznych. Twierdzi się między innymi, że maszyny nigdy nie będą w stanie wykonać pewnych czynności. Tymczasem wskazaliśmy już, że możliwości działania sztucznych układów cybernetycznych są bardzo duże. Przy tym wszelkie przewidywania w tym zakresie mogą szybko pozostać w tyle za rzeczywistymi osiągnięciami praktycznymi. Często opierają się te prognozy na fałszywych wyobrażeniach o istocie nowoczesnego świata maszyn. Głosi się mianowicie pogląd, że maszyny i urządzenia cybernetyczne należą w całości do sfery nieorganicznej lub fizycznej formy ruchu materii. Wysuwane są tezy, że nie mogą one przekroczyć określonych wąskich przedziałów czynno-

ściowych, ponieważ zbudowane są z metalu, szkła i innych substancji nieorganicznych, a zachodzące w nich istotne procesy energetyczne mają wyłącznie charakter zjawisk elektrycznych. Zdajemy już sobie dobrze sprawę z popełnianego tu błędu. Decydującą rolę odgrywają w tym przypadku nie użyte materiały lub rodzaj energii, ale struktura i sposób funkcjonowania układów. Nie powstały one w żadnym razie na drodze pozaludzkiej ewolucji „przyrodniczej", lecz stanowią właśnie produkt długotrwałego rozwoju najwyższej formy materii jaką znamy — człowieka, społeczeństwa i ludzkiej świadomości. Struktura i sposób funkcjonowania współczesnych maszyn cybernetycznych nie należą wyłącznie do przyrody nieożywionej. Są one nieorganicznym odwzorowaniem sfery myśli.

Organizmy biologiczne, poczynając od najprymitywniejszych przejawów życia i kończąc na człowieku, stanowią wytwór autonomicznego procesu rozwojowego od form niższych do wyższych. Jest to absolutna i niepodważalna teza przyrodoznawstwa. Ponadto wiemy, że są one tworami o zdumiewającej zdolności przystosowawczej i dysponują pokaźną liczbą rozmaitych sposobów zachowania się. Szczególnie wyróżniające się cechy posiada w tym względzie człowiek — istota wieńcząca niejako cały proces ewolucji biologicznej. Zawdzięcza to przede wszystkim niezwykłym zdolnościom swego mózgu. Jeżeli abstrahować, sposobem cybernetycznym, od różnorodnych właściwości substancjalnych przyrody ożywionej, można wówczas w pełni porównać żywe organizmy, uwzględniając ich strukturę i funkcje, z maszynami cybernetycznymi. W obydwu bowiem przypadkach mamy do czynienia z systemami cybernetycznymi. Zapewne dzisiejsze urządzenia cybernetyczne nawet w zestawieniu z niższymi organizmami wydają się być układami niezwykle prymitywnymi. Gdy jednak uprzytomnimy sobie, że w zakresie konstrukcji sztucznych układów cybernetycznych znajdujemy się jeszcze w początkowym stadium rozwoju i że nie jesteśmy w stanie określić żadnej absolutnej granicy ich przyszłych możliwości, nie zdziwią

nas wielkie niespodzianki, na które możemy tu jeszcze natrafić. Jeśli bowiem natura zrealizowała tak wspaniały układ cybernetyczny, jakim jest człowiek, czegóż dopiero można spodziewać się po jego coraz doskonalszych wytworach, opracowanych świadomie w oparciu o pogłębiające się poznanie istoty otaczających go systemów oraz samego siebie? Być może przestaniemy niebawem mówić o „maszynach" i nawet „automatach", ale interesować się będziemy raczej sferą organizmów oraz ich wytwarzaniem przy mniej lub bardziej bezpośredniej interwencji człowieka.

Jak stwierdziliśmy, znajdujemy się dopiero na początku przyszłego gwałtownego procesu rozwojowego. Dlatego musimy doceniać istniejące problemy i trudności, bowiem w przyszłości wystąpią one w jeszcze jaskrawszej formie. Aby im sprostać, należy przede wszystkim podnieść swoje kwalifikacje przy opanowywaniu i obsłudze wysoce kompleksowych systemów. Poza tym niezbędne staje się opracowanie odpowiednio małych i zarazem trwale funkcjonujących elementów składowych. W przyszłości może się też okazać, że ze względów materiałowych (np. przy użyciu przewodów metalowych, półprzewodników itd.) pewne sposoby zachowania nie dadzą się naśladować. Oczywiście fakt ten nie oznaczałby jeszcze żadnej absolutnej granicy dla możliwości konstrukcyjnych urządzeń cybernetycznych. Twórcza działalność człowieka doprowadziłaby wówczas bez wątpienia do wykrycia i opracowania innych nadających się do tego celu substancji, np. organicznych.

Na zakończenie pragniemy jeszcze raz podkreślić, że rozwój maszyn cybernetycznych ściśle wiąże się z dalszym zgłębianiem przez człowieka tajemnic przyrody. Wiele zagadek, dotyczących człowieka i myślenia ludzkiego, wymaga wciąż wyjaśnienia. Teza o ograniczonych możliwościach budowy maszyn cybernetycznych oznacza jednocześnie zakwestionowanie lub co najmniej zawężenie możliwości poznania świata. Daleko jeszcze do zbadania wszystkich aspektów myślenia i ludzkiej świadomości, ale tworzenie coraz doskonal-

szych układów cybernetycznych może tu wiele pomóc. Czasem — w trosce, aby nie zatrzeć „podstawowego problemu filozofii" — jesteśmy też skłonni przeciągnąć absolutną granicę między świadomością i materią również poza sferę zasadniczego zagadnienia teorii poznania. W ten sposób przekształcamy jednak myślenie ludzkie i świadomość w zjawisko nieomal mistyczne, niedostępne wszelkiemu zrozumieniu. Niewątpliwie i tutaj znajdują pełne zastosowanie słowa Fryderyka Engelsa, wypowiedziane przeciw Kantowi i jego niepoznawalnej „rzeczy samej w sobie": „Najbardziej przekonywającym obaleniem tych dziwolągów filozoficznych, podobnie jak wszelkich innych, jest praktyka, a mianowicie eksperyment i przemysł. Skoro możemy dowieść słuszności naszego pojmowania pewnego procesu przyrodniczego w ten sposób, że go sami wytwarzamy, że wywołujemy go w rezultacie odtwarzania jego warunków i ponadto każemy mu służyć naszym celom, to nadchodzi kres kantowskiej nieuchwytnej »rzeczy samej w sobie«" *.

* Marks — Engels: *Dzieła Wybrane*, t. II, Warszawa, 1949 r. str. 353.

NASTĘPNA POZYCJA „OMEGI"

Witold Filler

Modele teatru. Szkice o polskim teatrze współczesnym.

Książka, napisana w formie eseju, jest próbą prezentacji głównych kierunków dzisiejszego polskiego teatru. Autor z pasją publicystyczną, w oparciu o własną ocenę, żywo i barwnie kreśli sylwetki czołowych inscenizatorów takich jak Axer, Hanuszkiewicz, Dejmek i inni.
Na tle analizy sztuk teatralnych, reżyserskiego i aktorskiego warsztatu pracy, poznajemy indywidualności twórcze tych, którzy kształtują dzisiejsze oblicze naszego teatru.



CENA ZŁ 10,—